



**TOMADA DE DECISÃO NO SUPRIMENTO DE COMMODITIES FÍSICAS PELO
EMPREGO DE FERRAMENTAS *FUZZY***

Gustavo Bastos de Andrade

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de
Pós-graduação em Engenharia de Produção,
COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro,
como parte dos requisitos necessários à obtenção do
título de Doutor em Engenharia de Produção.

Orientador: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Rio de Janeiro
Julho de 2024



**TOMADA DE DECISÃO NO SUPRIMENTO DE COMMODITIES FÍSICAS PELO
EMPREGO DE FERRAMENTAS *FUZZY***

Gustavo Bastos de Andrade

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Orientador: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Aprovada por: Prof. Carlos Alberto Nunes Cosenza

Prof. Mario Cesar Rodríguez Vidal

Prof. Edison Conde Perez dos Santos

Prof. Cláudio Henrique dos Santos Grecco

Prof.^a Cristina Gomes de Souza

Prof. Harvey José Santos Ribeiro Cosenza

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JULHO DE 2024

Andrade, Gustavo Bastos de
Tomada de Decisão no Suprimento de Commodities
Físicas pelo Emprego de Ferramentas Fuzzy/Gustavo Bastos de
Andrade. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2024
XVIII, 215 p.: il.: 29,7 cm
Orientador: Carlos Alberto Nunes Cosenza
Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de
Engenharia de Produção, 2024
Referências Bibliográficas: p. 90-95.
1. Lógica Fuzzy. 2. Suprimento de óleo cru. 3. Tomada
de decisão. I. Cosenza, Carlos Alberto Nunes II. Universidade
Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de
Produção. III. Título

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho às pessoas que me fizeram seguir.

Ao meu pai por me desafiar naquilo que parece impossível.

À minha mãe por me fazer acreditar que é possível.

À minha irmã pelo seu inestimável tempo.

Eu dedico este trabalho a eles.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus Professores Carlos Alberto Nunes Cosenza e Edison Conde, pois sem eles nada disso teria sido possível. O convívio e as nossas boas conversas foram fundamentais para que chegássemos ao resultado alcançado. O ambiente de carinho foi mais do que necessário para que criássemos uma amizade capaz de avançar muito além do resultado deste trabalho. Ao Professor Fábio que também ajudou na evolução deste trabalho, deixo o meu obrigado. e ao Professor Mário Vidal pelas boas conversas que também tivemos, e o seu auxílio em todo o período, deixo o meu obrigado.

Aos colegas de turma, o meu obrigado pelas trocas que tivemos ao longo de todo esse tempo. À querida colega Maria Emilia, que sempre esteve atenta e ajudando em diversos momentos, o meu agradecimento. Ao colega Vinícius Costa, com o qual também tive boas conversas acerca de outros assuntos e que muito ajudou no processo de amadurecimento do trabalho, deixo o meu obrigado.

À minha querida namorada Danielle deixo um beijo pela amizade, carinho, chegadas e conquistas presentes e necessárias ao longo dessa nossa gostosa caminhada.

EPÍGRAFE

Dias inteiros de calmaria, noites de ardentia,
dedos no leme e olhos no horizonte, descobri
a alegria de transformar distâncias em tempo.
Um tempo em que aprendi a entender as coisas
do mar, a conversar com as grandes ondas e não
discutir com o mau tempo. A transformar o medo
em respeito, o respeito em confiança. Descobri
como é bom chegar quando se tem paciência.
E para se chegar, onde quer que seja, aprendi que
não é preciso dominar a força, mas a razão.
É preciso, antes de mais nada, querer.

Cem dias entre o céu e o mar – Amyr Klink

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

**TOMADA DE DECISÃO NO SUPRIMENTO DE COMMODITIES FÍSICAS PELO
EMPREGO DE FERRAMENTAS FUZZY**

Gustavo Bastos de Andrade

Orientador: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Programa: Engenharia de Produção

O objetivo geral do trabalho é propor uma nova metodologia capaz de criar um modelo que resulte na otimização dos resultados no suprimento de petróleo para as refinarias.

O objetivo específico deste trabalho é a aplicação da metodologia utilizando o Modelo Hierárquico COPPE-COSENZA.

O método desenvolvido é uma contribuição para a melhoria do processo de ranqueamento e seleção de óleos crus por sistematizar a união da análise clássica de margem com a análise linguística e subjetiva com a aplicação do Modelo Hierárquico COPPE-COSENZA no Método de Seleção em Três Etapas, a partir do ranqueamento fuzzy, por fornecer ao tomador de decisão informações mais qualificadas para uma melhor escolha dos óleos crus.

Os vários resultados alcançados mostram a utilização da metodologia na identificação dos filtros de margem de refino, na elaboração da matriz de seleção técnica, no estabelecimento da hierarquização fuzzy e na validação da proposta da metodologia.

Quando aplicado a situações da vida real, o modelo pode significar ferramenta valiosa. A simples transparência dos resultados da atribuição e classificação dos fatores pode levar a excelentes discussões, o que pode promover o crescimento da equipe e uma melhor gestão do negócio.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

**DECISION MAKING PROCESS IN THE SUPPLY OF PHYSICAL COMMODITIES
USING FUZZY TOOLS**

Gustavo Bastos de Andrade

Advisor: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Department: Production Engineering

The general objective of the work is to construct a new methodology capable of optimize the outcomes in the supply of oil to the refineries.

The specific objective of this work is the application of a methodology using the COPPE-COSENZA Hierarchical Model.

The developed method is a contribution to the improvement of the ranking and selection of crude oils by systematizing the combination of the classic profit margin analysis with the linguistic and subjective analysis. The contribution of this work was accomplished through the application of the COPPE-COSENZA Hierarchical Model on the Hierarchical Method of Oil Selection in 3 Stages by providing the decision maker with more qualified information for a better choice on the selection of crude oils.

The results show that the use of the methodology improves the identification of refining margin filters, the elaboration of the technical selection matrix, the establishment of the fuzzy hierarchy and in the validation of the methodology proposal.

When applied to real-life situations, the model can mean valuable tool. Simply transparency of the results of assigning and ranking factors can lead to excellent discussions, which can promote team growth and better business management

This method also has the potential to lead to better selection in the purchase of crude oils in the future through its implementation by new artificial intelligence methods through the personal assistants of planners and *traders*.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1– INTRODUÇÃO	1
1.1 - CONTEXTUALIZAÇÃO DA PROBLEMÁTICA.....	1
1.2- QUESTÃO DA PESQUISA E JUSTIFICATIVA	1
1.3- OBJETIVOS.....	2
1.3.1 OBJETIVO GERAL.....	2
1.3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	2
1.4– ABORDAGEM METODOLÓGICA.....	2
1.5- CONTRIBUIÇÃO, RELEVÂNCIA E ORIGINALIDADE.....	3
1.6- ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	4
CAPÍTULO 2 – O MERCADO DE PETRÓLEO.....	5
2.1 - O MERCADO DE PETRÓLEO GLOBAL.....	5
2.2 – O MERCADO DE PETRÓLEO NO BRASIL.....	7
2.3 - COMPORTAMENTO DO CONSUMO, PRODUÇÃO E PREÇO.....	7
2.4 - ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO PREÇO DO PETRÓLEO.....	9
2.5 - SUPRIMENTO DE PETRÓLEO ÀS REFINARIAS.....	11
2.6 – SELEÇÃO DE COMPRA E ÓLEO CRU.....	13
CAPÍTULO 3- REVISÃO DA LITERATURA.....	17
3.1 – CONCEITOS DA LÓGICA FUZZY.....	17
3.2 – SEGURANÇA ENERGÉTICA.....	20
3.3 – VOLATILIDADE DO MERCADO DE PETRÓLEO.....	21
3.4 – ELASTICIDADE-PREÇO DA DEMANDA DO MERCADO DE PETRÓLEO	23
3.5 – REDES NEURAIS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL.....	26
3.6 – MODELO HIERÁRQUICO COPPE-COSENZA.....	29
CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA.....	33
4.1 – DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO.....	33
4.2 – CONCEPÇÃO DA MODELAGEM.....	34
4.2.1 – ETAPA 1 – FILTRO DE MARGEM DE REFINO	37
4.2.2 – ETAPA 2 – MATRIZ DE SELEÇÃO TÉCNICA.....	38
4.2.3-ETAPA 3 – ESTABELECIMENTO DA HIERARQUIZAÇÃO FUZZY COPPE-COSENZA DE DEMANDA E OFERTA.....	41
4.3 – VALIDAÇÃO DA PROPOSTA METODOLÓGICA.....	45

CAPÍTULO 5 – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA.....	46
5.1 – REFINARIA PETROÍNEOS EM LAVERA, FRANÇA.....	46
5.2 – REFINARIA SHELL EM PERNIS, HOLANDA.....	56
5.3 – REFINARIA PETROÍNEOS EM GRANGEMOUTH, ESCÓCIA.....	57
5.4 – MATRIZES DE DEMANDA.....	59
5.5 – MATRIZES DE OFERTA.....	64
CAPÍTULO 6 – ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	73
6.1 – COTEJO ENTRE DEMANDA E OFERTA.....	73
6.2 – ÍNDICES DE OPÇÕES DE SUPRIMENTO.....	78
6.3 – DISCUSSÃO.....	86
CAPÍTULO 7 – CONCLUSÃO.....	88
CAPÍTULO 8 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	89
REFERÊNCIAS.....	90-95
APÊNDICE 1.....	96
APÊNDICE 2.....	108
APÊNDICE 3 – MANUSCRITO DO TRABALHO PUBLICADO NA REVISTA SSRN JOURNAL: A FUZZY ANALYSIS APPLIED ON PHYSICAL COMMODITY MARKET.....	123
APÊNDICE 4 - MANUSCRITO DO TRABALHO PUBLICADO NA REVISTA DECISION ANALYTICS JOURNAL: A NOVEL APPROACH FOR COMPLEX AND SUBJECTIVE VARIABLE VALUATION IN THE COPPE-COSENZA FUZZY MODEL APPLIED TO CRUDE OIL TRADING.....	142
APÊNDICE 5 -MANUSCRITO DO TRABALHO PUBLICADO NA REVISTA GESTÃO E SECRETARIADO: HIERARCHICAL FUZZY MODEL APPLIED TO OIL TRADING.....	172
APÊNDICE 6 – MANUSCRITO DO TRABALHO PUBLICADO NA REVISTA GESTÃO E SECRETARIADO: PERSPECTIVAS NA TRANSFORMAÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA UTILIZANDO LÓGICA FUZZY.....	201

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: VARIAÇÃO DOS PREÇOS DO BARRIL DE PETRÓLEO DE 1861-2020.....	6
FIGURA 2: RELAÇÃO HISTÓRICA DA PRODUÇÃO E CONSUMO DE PETRÓLEO.....	8
FIGURA 3: CURVA DE INTERVALO DE MILHÕES DE BARRIS DE PETRÓLEO PARA OS MOMENTOS DE ESTABILIDADE E INSTABILIDADE	9
FIGURA 4: CURVA DE ESTABILIDADE DO PREÇO DO BARRIL DE PETRÓLEO.....	10
FIGURA 5: VALOR HISTÓRICO DO PREÇO DO BARRIL DE PETRÓLEO CRU COM VALOR ATUALIZADO PARA O PETRÓLEO EM 50 ANOS.....	10
FIGURA 6: CICLO VICIOSO DE INEFICIÊNCIA ENERGÉTICA QUE CONTRIBUI PARA A PERPETUAÇÃO DA INIQUIDADE E DA POBREZA EM REGIÕES SUBDESENVOLVIDAS.....	11
FIGURA 7: CICLO VIRTUOSO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA QUE CONTRIBUI PARA A EFICIÊNCIA DA ECONOMIA E ENRIQUECIMENTO DA SOCIEDADE.....	12
FIGURA 8: CICLO VIRTUOSO DE COMPETITIVIDADE DE UMA REFINARIA.....	12
FIGURA 9: DESENHO ESQUEMÁTICO DO PROCESSO DE ABASTECIMENTO, PROCESSAMENTO E VENDA DE DERIVADOS DE PETRÓLEO EM UMA REFINARIA.....	15
FIGURA 10: EXEMPLO ESQUEMÁTICO DE FLUXO DE OTIMIZAÇÃO DE REFINARIA.....	15
FIGURA 11: ADAPTAÇÃO DO PLANO DE OPERAÇÃO DA REFINARIA EM RAZÃO DE MUDANÇAS INESPERADAS.....	16
FIGURA 12: FLUXOGRAMA DE OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL DA REFINARIA COM O EMPREGO DO MODELO DE SELEÇÃO EM TRÊS ETAPAS.....	35
FIGURA 13: PROCESSOS DE SELEÇÃO DE ÓLEO CRU.....	36
FIGURA 14: MÉTODO HIERÁRQUICO DE SELEÇÃO DE ÓLEOS EM TRÊS ETAPAS.....	37
FIGURA 15 : MATRIZ DE SELEÇÃO TÉCNICA DE ÓLEOS CRUS.....	41
FIGURA 16: MATRIZ DE SELEÇÃO TÉCNICA PARA LAVERA, CONSIDERADA A MARGEM DE REFINO E A VIABILIDADE TÉCNICA.....	53

FIGURA 17: LAVERA - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS ÍNDICES DE OPÇÕES DE SUPRIMENTO	79
FIGURA 18: PERNIS – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS ÍNDICES DE OPÇÕES DE SUPRIMENTO	82
FIGURA 19: GRANGEMOUTH – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS ÍNDICES DE OPÇÕES DE SUPRIMENTO.....	85

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: MATRIZ FUZZY DE DEMANDA POR FATORES.....	30
TABELA 2: MODELO HIERÁRQUICO PARA ORGANIZAÇÃO POR ALTERNATIVAS.....	30
TABELA 3: MATRIZ DE RELAÇÕES DE PERTINÊNCIA PARA O COTEJO ENTRE A DEMANDA E A OFERTA.....	31
TABELA 4: NÍVEL LINGUÍSTICO E CONJUNTO FUZZY RELATIVOS À MARGEM DE LUCRO.....	38
TABELA 5: NÍVEL LINGUÍSTICO E CONJUNTO FUZZY RELATIVOS AO GRAU DE APROVAÇÃO TÉCNICA DA QUALIDADE DE ÓLEO CRU.....	39
TABELA 6: NÍVEL LINGUÍSTICO E CONJUNTO FUZZY RELATIVOS AO GRAU DE ADEQUAÇÃO À SITUAÇÃO DA REFINARIA.....	40
TABELA 7: NÍVEL LINGUÍSTICO E CONJUNTO FUZZY RELATIVOS AO GRAU DE VIABILIDADE TÉCNICA	40
TABELA 8: MATRIZ FUZZY DE DEMANDA POR FATORES.....	42
TABELA 9: CORRESPONDÊNCIA ENTRE VARIÁVEIS LINGUÍSTICAS E GRAUS DE PERTINÊNCIA NA MATRIZ DE DEMANDA.....	43
TABELA 10: MATRIZ FUZZY DE OFERTA TERRITORIAL DE FATORES.....	43
TABELA 11: CORRESPONDÊNCIA DE VARIÁVEIS LINGUÍSTICAS E GRAUS DE PERTINÊNCIA NA MATRIZ DE OFERTA.....	44
TABELA 12: MATRIZ DE RELAÇÕES DE PERTINÊNCIA PARA O COTEJO ENTRE DEMANDA E OFERTA.....	44
TABELA 13: AVALIAÇÃO LINGUÍSTICA DA MARGEM DE LUCRO DE REFINO.....	47
TABELA 14: LISTA DE DIFERENTES QUALIDADES DE CRUS, SEUS PAÍSES DE ORIGEM E CORRESPONDENTES SUPRIDORES.....	48-49
TABELA 15: AVALIAÇÃO LINGUÍSTICA DE VIABILIDADE TÉCNICA EM RELAÇÃO AO ESTADO DE APROVAÇÃO E ADEQUAÇÃO DO ÓLEO CRU À SITUAÇÃO DA REFINARIA.....	50
TABELA 16: GRAUS DE PERTINÊNCIA FUZZY PARA OS FATORES DE VIABILIDADE TÉCNICA.....	51
TABELA 17: PARES ORDENADOS REFERENTES À MARGEM DE REFINO E VIABILIDADE TÉCNICA DE CADA QUALIDADE DE ÓLEO CRU.....	52
TABELA 18: SUPRIDORES E PAÍS DE ORIGEM DE CADA QUALIDADE DE ÓLEO CRU AVALIADO.....	54

TABELA 19: LAVERA – DEFINIÇÃO DOS SUPRIDORES E SUAS LOCAÇÕES DE CARREGAMENTO PARA AS MATRIZES DE OFERTA.....	55
TABELA 20: LAVERA - OPÇÕES LOGÍSTICAS DISPONÍVEIS POR SUPRIDOR.....	55
TABELA 21: PERNIS – DEFINIÇÃO DOS SUPRIDORES E SUAS LOCAÇÕES DE CARREGAMENTO PARA AS MATRIZES DE OFERTA.....	56
TABELA 22: PERNIS – OPÇÕES LOGÍSTICA DISPONÍVEIS POR SUPRIDOR.....	57
TABELA 23: GRANGEMOUTH - DEFINIÇÃO DOS SUPRIDORES E SUAS LOCAÇÕES DE CARREGAMENTO PARA AS MATRIZES DE OFERTA.....	58
TABELA 24:GRANGEMOUTH – OPÇÕES LOGÍSTICAS DISPONÍVEIS POR SUPRIDOS.....	58
TABELA 25: DEFINIÇÃO DOS FATORES DE DEMANDA VÁLIDOS PARA TODAS AS ALTERNATIVAS.....	59-60
TABELA 26: DEFINIÇÃO DO GRAU DE PERTINÊNCIA DOS FATORES DE DEMANDA VÁLIDOS PARA TODAS AS REFINARIAS.....	60
TABELA 27: LAVERA – MATRIZ DE DEMANDA PARA AS QUATRO OPÇÕES LOGÍSTICAS DE ENTREGA DE ÓLEO CRU.....	61
TABELA 28: PERNIS – MATRIZ DE DEMANDA PARA AS QUATRO OPÇÕES LOGÍSTICAS DE ENTREGA DE ÓLEO CRU.....	62
TABELA 29: GRANGEMOUTH – MATRIZ DE DEMANDA PARA AS QUATRO OPÇÕES LOGÍSTICAS DE ENTREGA DE ÓLEO CRU.....	63
TABELA 30: QUALIFICAÇÃO DOS FATORES E SUAS CLASSIFICAÇÕES PARA A MATRIZ DE OFERTA.....	64-65
TABELA 31: DEFINIÇÕES DA GRAADAÇÃO DA QUALIDADE DE OFERTA.....	65
TABELA 32: LAVERA – MARGEM DE REFINO POR OFERTA.....	65
TABELA 33: LAVERA – MATRIZES DE OFERTA.....	66-67
TABELA 34: PERNIS – MARGEM DE REFINO POR OFERTA.....	67
TABELA 35: PERNIS – MATRIZES DE OFERTA.....	68-69
TABELA 36: GRANGEMOUTH – MARGEM DE REFINO POR OFERTA.....	70
TABELA 37: GRANGEMOUTH – MATRIZES DE OFERTA.....	71-72
TABELA 38: MATRIZ DE COTEJO PARA MARGEM DE REFINO EM FUNÇÃO DA QUALIDADE E DO PREÇO FINAL.....	73
TABELA 39: MATRIZ DE COTEJO PARA PRAZO DE PAGAMENTO.....	73
TABELA 40: MATRIZ DE COTEJO PARA DATA DE ENTREGA.....	74

TABELA 41: MATRIZ DE COTEJO PARA RELACIONAMENTO COM SUPRIDOR.....	74
TABELA 42: MATRIZ DE COTEJO PARA PRÉ-REGISTRO NO SISTEMA DE PAGAMENTO.....	74
TABELA 43: MATRIZ DE COTEJO PARA COMPATIBILIDADE DE PADRÃO E TAMANHO DE NAVIOS NOS PORTOS DE CARGA E DESCARGA.....	75
TABELA 44: MATRIZ DE COTEJO PARA PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA NO TERMINAL DE CARGA ALINHADOS COM COMPRADOR.....	75
TABELA 45: MATRIZ DE COTEJO PARA HISTÓRICOS DE PERFORMANCE DE ENTREGA.....	75
TABELA 46: MATRIZ DE COTEJO PARA RISCO DE INTERRUPÇÕES NO PORTO DE CARGA.....	76
TABELA 47: MATRIZ DE COTEJO PARA RISCO DE CASOS DE COVID-19 NO PESSOAL DO NAVIO.....	76
TABELA 48: MATRIZ DE COTEJO PARA ALINHAMENTO DE TERMOS DE CONTRATO.....	76
TABELA 49: MATRIZ DE COTEJO PARA DISPONIBILIDADE DE NAVIOS ADEQUADOS NO MERCADO ABERTO DE FRETE.....	77
TABELA 50: MATRIZ DE COTEJO PARA ESPAÇO NA CONEXÃO TANQUE A TANQUE.....	77
TABELA 51: MATRIZ DE COTEJO PARA PRÉ-APROVAÇÃO DO PORTO DE CARGA.....	77
TABELA 52: LAVERA – CLASSIFICAÇÃO DE COMPETITIVIDADE DA OFERTA DE ACORDO COM AS OPÇÕES DE SUPRIMENTO.....	78
TABELA 53 - LAVERA MATRIZ Δ DE ÍNDICES DE OPÇÕES DE SUPRIMENTO.....	79
TABELA 54: LAVERA – RESULTADO DA AVALIAÇÃO USANDO ÍNDICES QUALITATIVOS DAS OPÇÕES DE SUPRIMENTO.....	80
TABELA 55: RANQUEAMENTO FINAL DE SUPRIMENTO PARA NEGOCIAÇÃO PELO TRADER PARA LAVERA.....	80
TABELA 56: PERNIS – CLASSIFICAÇÃO DE COMPETITIVIDADE DA OFERTA DE ACORDO COM AS OPÇÕES DE SUPRIMENTO.....	81
TABELA 57: PERNIS – MATRIZ Δ DE ÍNDICES DE OPÇÕES DE SUPRIMENTO.....	82
TABELA 58: PERNIS – RESULTADO DA AVALIAÇÃO USANDO ÍNDICES QUALITATIVOS DAS OPÇÕES DE SUPRIMENTO.....	83

TABELA 59: RANQUEAMENTO FINAL DE SUPRIMENTO PARA NEGOCIAÇÃO PELO TRADER PARA PERNIS.....	83
TABELA 60: GRANGEMOUTH – CLASSIFICAÇÃO DE COMPETITIVIDADE DA OFERTA DE ACORDO COM AS OPÇÕES DE SUPRIMENTO.....	84
TABELA 61: GRANGEMOUTH – MATRIZ Δ DE ÍNDICES DE OPÇÕES DE SUPRIMENTO.....	84
TABELA 62: GRANGEMOUTH – RESULTADO DA AVALIAÇÃO USANDO ÍNDICES QUALITATIVOS DAS OPÇÕES DE SUPRIMENTO.....	85
TABELA 63: RANQUEAMENTO FINAL DE SUPRIMENTO PARA NEGOCIAÇÃO PELO TRADER PARA GRANGEMOUTH.....	86

LISTA DE ACRÔNIMOS

COP-26 → Reunião de líderes mundiais que coordena ações para deter o aquecimento global

DAT → Delivered at Tank

EPE → Empresa de Pesquisa Energética

FOB → Free on Board

GLP → Gás Liquefeito de Petróleo

IA → Inteligência Artificial

IEA → International Energy Agency

LP → Linear Programming

ML → Margem de Lucro

PIB → Produto Interno Bruto

WTI → West Texas Intermediate

GLOSSÁRIO

Crude assay → Qualidade do óleo cru

Pecking order → Relatório que lista as diferentes margens para as diferentes qualidades e preços dos óleos crus disponíveis

Linear Programming → Programa computacional do processo de planejamento da refinaria

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresentaremos a contextualização da problemática, a questão da pesquisa, os objetivos, a abordagem metodológica, a contribuição, a relevância bem como a originalidade do trabalho e como está organizado nos capítulos seguintes.

1.1 - CONTEXTUALIZAÇÃO DA PROBLEMÁTICA

Este trabalho busca identificar a importância do mercado de petróleo em um contexto global e fazer uma análise para tomada de decisão para suprimento de óleo cru em custos mais adequados e buscando a segurança bem como a confiabilidade do processo, seja da entrada da commodity na refinaria bem como a sua posterior venda.

1.2 - QUESTÃO DA PESQUISA E JUSTIFICATIVA

O petróleo é a commodity de maior volume negociada no mundo, da ordem de 100 milhões de barris diários. Embora seja uma commodity de grande liquidez, o mercado é muito sensível a diversos tipos de variáveis, tais como ambiente político, segurança no suprimento, equilíbrio entre oferta e procura ou condições meteorológicas extremas.

A liquidez do petróleo depende da qualidade do óleo cru, tendo em vista a capacidade de processamento das refinarias e, portanto, da demanda específica. Fatores pontuais, como a logística disponível e o prazo de entrega, podem ser determinantes na colocação do tipo de demanda. Cada refinaria tem uma lista peculiar de qualidades de óleos crus aprovados para processamento por sua estrutura industrial. Apenas estas qualidades aprovadas podem ser compradas naquele intervalo de tempo, reduzindo o espectro de ofertas a serem consideradas em uma compra.

O ambiente de fornecimento de derivados de petróleo em economias competitivas é muito disputado pelos concorrentes. São comuns os descomissionamentos, vendas e aquisições de refinarias por novos investidores. A indústria procura aumentar a eficiência pelo uso de sistemas automáticos de controle e gerenciamento de cada fase do processo.

O desenvolvimento de um sistema de otimização na tomada de decisão em opções de compra, que envolvem de US\$ 200 a 300 milhões por mês em uma única refinaria, é de grande interesse para a indústria.

A metodologia aplicada mostra que a utilização do Modelo Hierárquico COPPE-COSENZA leva a resultados com alta coerência com o processo decisório mental usado por profissionais experientes de suprimento e *trading*. Isto significa uma operação mais sustentável que pode financiar necessários investimentos em infraestrutura e processos que aumentam ainda mais a flexibilidade na seleção de matéria prima.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do trabalho é propor uma nova metodologia utilizando o Modelo Hierárquico COPPE-COSENZA no Método de Seleção em Três Etapas, a partir do ranqueamento fuzzy, considerando os diferentes fatores envolvidos, em um ambiente de oferta e demanda global por petróleo altamente competitivo e dependente dessa fonte energética, para aumentar a eficiência da indústria petrolífera dentro de um cenário de países essencialmente consumidores.

1.3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Como objetivos específicos deste trabalho podem ser colocados os vários resultados alcançados com a aplicação da metodologia tais como: i) Identificação dos filtros de margem de refino; ii) Elaboração da matriz fuzzy de seleção técnica; iii) Estabelecimento da hierarquização fuzzy; iv) Validação da proposta da metodologia. .

1.4 ABORDAGEM METODOLÓGICA

A partir da aplicação do Modelo Hierárquico COPPE-COSENZA, utilizando o método de Seleção de Suprimento em Três Etapas, com o ranqueamento fuzzy, a tomada de decisão vai abordar fatores relevantes para a seleção de óleos crus para suprimento de refinarias.

O processo usual é simplesmente escolher a oferta com maior margem de lucro dentre as opções disponíveis e da adequação técnica possível.

O uso do método aqui desenvolvido e seu aprofundamento com o emprego de IA vai possibilitar alcançar maior velocidade, melhores resultados e menos eventos desfavoráveis, com o equilíbrio exigido entre margem de lucro, minimização de riscos e facilidade operacional

1.5 CONTRIBUIÇÃO, RELEVÂNCIA E ORIGINALIDADE

A contribuição deste trabalho para o meio acadêmico se dá pela elaboração de uma nova metodologia fuzzy com o emprego do Modelo Hierárquico COPPE-COSENZA para tomada de decisão para suprimento de óleo cru, utilizando o método de Seleção de Suprimento em Três Etapas, visando à aquisição de matéria prima em custos mais adequados tendo em vista a volatilidade do mercado.

Nesse sentido, busca-se melhorar a qualidade no resultado das tomadas de decisão de compra de óleo cru para suprimento nas refinarias e a transformação de um processo de análise subjetiva em um processo inteligente capaz de combinar o emprego da lógica fuzzy com julgamentos objetivos. O estudo de caso mostrou que o modelo empregado será uma ferramenta de grande utilidade para a maior automatização do processo e uma melhor tomada de decisão na compra e venda de commodities físicas.

O petróleo é a commodity de maior volume negociada no mundo, da ordem de 100 milhões de barris diários. Embora seja uma commodity de grande liquidez, o mercado é muito sensível a diversos tipos de variáveis, tais como ambiente político, segurança no suprimento, equilíbrio entre oferta e procura ou condições meteorológicas extremas.

A liquidez do petróleo depende da qualidade do óleo cru, tendo em vista a capacidade de processamento das refinarias e, portanto, da demanda específica. Fatores pontuais, como a logística disponível e o prazo de entrega, podem ser determinantes na colocação do tipo de demanda. Cada refinaria tem uma lista peculiar de qualidades de óleos crus aprovados para processamento por sua estrutura industrial. Apenas estas qualidades aprovadas podem ser compradas naquele intervalo de tempo, reduzindo o espectro de ofertas a serem consideradas em uma compra.

O ambiente de fornecimento de derivados de petróleo em economias competitivas é muito disputado pelos concorrentes. São comuns os descomissionamentos, vendas e aquisições de refinarias por novos investidores. A indústria procura aumentar a eficiência pelo uso de sistemas automáticos de controle e gerenciamento de cada fase do processo.

Portanto o desenvolvimento de um sistema de otimização na tomada de decisão em opções de compra, que envolvem valores de US\$ 200 a 300 milhões por mês em uma única refinaria, é de grande interesse para a indústria.

No ambiente de negócios de petróleo e outras commodities físicas é pouco comum o emprego de modelos preditivos. Este trabalho propõe uma nova ferramenta *fuzzy* para a seleção de óleos crus para suprimento de refinarias.

A originalidade deste trabalho se dá pelo emprego do Método de Seleção em Três Etapas, utilizando o Modelo de Hierarquização COPPE-COSENZA com aplicação no mercado de petróleo.

Esse método único e inovador no emprego de suprimento de commodities físicas será útil e trará maior facilidade e eficiência para as operações de compra no mercado do petróleo porque nas atuais práticas de planejamento e negociação de refinarias os petróleos são tipicamente classificados de acordo puramente com a viabilidade e a margem de lucro de refino esperada.

A inovação do novo método é o emprego de uma terceira etapa com ranqueamento fuzzy em que são relacionadas as matrizes de oferta e de demanda com seus respectivos fatores contextualizados e dentro de determinados limites, numéricos e linguísticos, correspondentes às respectivas matrizes.

Estabelecidas essas duas matrizes a inovação se dará a partir do resultado obtido no inter-relacionamento dos fatores presentes em cada uma delas. A oferta selecionada para suprimento de óleo cru é aquela que pertence ao conjunto de opções muito competitivas e maior margem de lucro.

1.6 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado com uma análise inicial do mercado de petróleo em âmbito global e local, com uma interpretação do comportamento quanto ao consumo, produção e preço da commodity.

Segue com uma revisão da literatura abordando os principais autores que tratam de temas semelhantes no que tange ao emprego de um modelo fuzzy. Também é abordada a questão da segurança energética e a volatilidade do mercado de petróleo bem como o ponto de elasticidade-preço da demanda, mostrando o avanço da inteligência artificial em possíveis projeções de mercado inclusive de petróleo e o modelo Hierárquico COPPE-COSENZA.

No capítulo seguinte tratamos do emprego da metodologia utilizada nesta pesquisa qualitativa e quantitativa, buscando obter os melhores resultados para a tomada de decisão no suprimento de petróleo.

Ao término do trabalho são discutidos os resultados, apresentadas as conclusões e considerações finais.

CAPÍTULO 2 - O MERCADO DE PETRÓLEO

Neste capítulo abordaremos o mercado de petróleo tanto em âmbito global como nacional, seguindo com uma breve análise do comportamento do preço dessa commodity, a sua participação na economia mundial, o seu grau de dependência e a forma como se dá atualmente se dá o suprimento de petróleo para às refinarias.

2.1 O MERCADO DE PETRÓLEO GLOBAL

A matriz energética mundial é fortemente dependente dos combustíveis fósseis, mas em transição para um maior aproveitamento de fontes renováveis. Segundo a Agência Internacional de Energia-IEA (AGENCY, 2020), do total das fontes energéticas utilizadas pelo mundo, 81% são de combustíveis fósseis incluídos petróleo, carvão mineral e gás natural sendo que o setor petroquímico continuará a ser o principal impulsionador do crescimento da demanda global de petróleo aumentando a procura por gás liquefeito de petróleo (GLP) e nafta fornecido pelas refinarias. De acordo com o Instituto Oxford (HORSNELL, 2000) as mudanças no mercado físico de petróleo podem ter sido profundas, mas a taxa de variação foi maior na sua negociação.

Para atender a uma demanda de quase 90 milhões de barris por dia, são negociados diariamente cerca de US\$ 10 bilhões em petróleo. Conforme os dados divulgados pela IEA (2020), espera-se que a demanda mundial por petróleo atinja o seu ápice em 2028, chegando a volumes de 105 milhões de barris diários, o que resultará em um aumento de aproximadamente 6 milhões de barris diários quando comparados aos volumes de 2022.

O crescimento deverá se reverter após 2023 para a gasolina e depois de 2026 para os combustíveis de transporte em geral. Essas tendências são o resultado do direcionamento para fontes de emissões mais baixas desencadeado pela crise energética global, bem como da ênfase política em melhorias de otimização energética e no rápido crescimento das vendas de veículos elétricos.

À medida que novas tecnologias são desenvolvidas e implementadas, o uso mais eficiente de combustíveis com baixo teor de carbono, incluindo captura e armazenamento, dará uma contribuição importante para limitar o impacto das mudanças climáticas. As crises recentes como a pandemia da Covid-19, a Guerra da Ucrânia e a instabilidade no Oriente Médio evidenciam o nível de interdependência mundial, demonstrando que problemas de uma região podem prejudicar a sociedade globalmente, dificultando as previsões quanto à segurança energética.

De acordo com o relatório da Agência Internacional de Energia (AGENCY, 2024) foi observado em junho e 2024 que uma alteração no padrão de comércio mundial de petróleo, destacando-se o aumento de importações de países da Ásia e contração por parte da Europa devido à produção crescente no Mar do Norte. Segundo as previsões do mencionado relatório, a região a leste do canal de Suez continuará sendo a principal impulsionadora do crescimento das operações de refino, mas a maior parte do aumento da produção global de petróleo virá da Bacia do Atlântico. A tendência predominante para o petróleo bruto e seus derivados é o aumento da oferta das Américas e do Oriente Médio para a Ásia. O Hemisfério Ocidental, especialmente as Américas, se tornará o principal fornecedor adicional de petróleo para os mercados globais, com exportações de 4,1 mb/d até 2028.

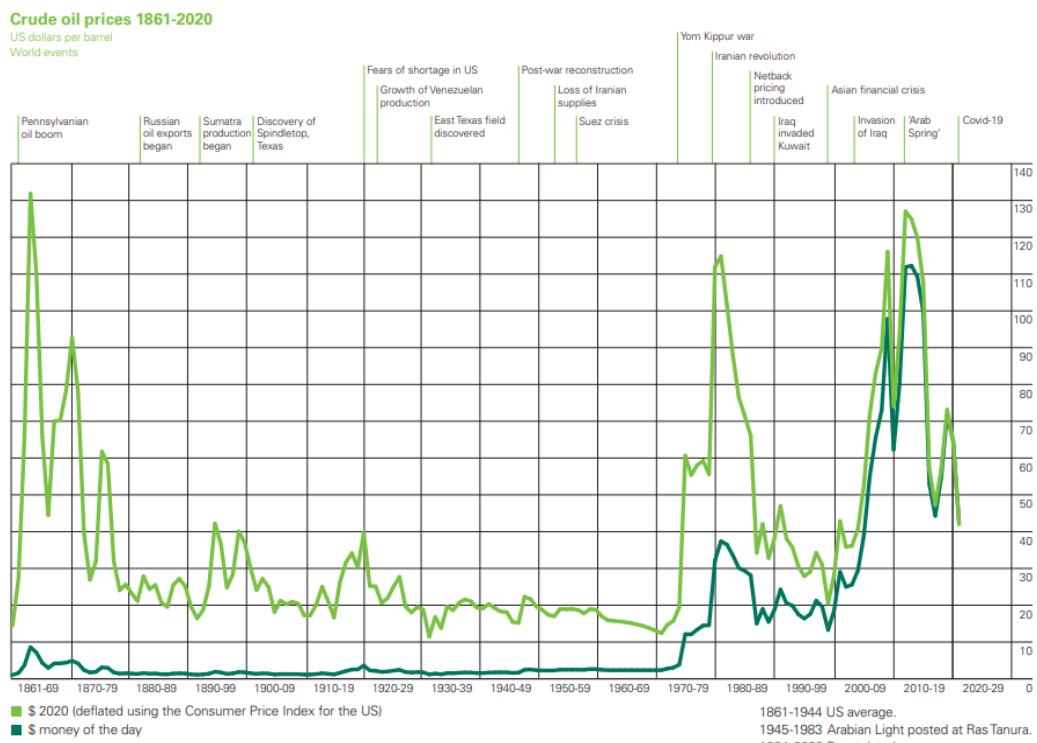


Figura 1: Variação dos preços do barril do petróleo de 1861-2020; Fonte: British Petroleum

A série histórica mostrada na Figura 1 indica o preço em US\$ atual do óleo cru e revela grandes oscilações de 1861 a 2020, que correspondem a crises facilmente reconhecidas. Há um platô de preços mais estáveis do final do Século XIX aos anos 70 do último século, quando seguidas crises no Oriente Médio mudaram o cenário mundial. Vivemos tempos com o barril oscilando próximo aos US\$ 100, o que é caro para os países importadores e dependentes desta fonte de energia. Preços mais elevados despertam, por outro lado, novos investimentos e atrai novos produtores, provocando aumento da oferta

e consequente queda nos preços. O remédio adotado pelos produtores tem sido manter a produção ligeiramente abaixo da demanda, embora conflitos de interesse sejam ainda fontes de crises.

Foi firmado um compromisso revalidado na Conferência do Clima em Glasgow (COP-26) buscando zerar as emissões líquidas de carbono até 2050 com o uso de formas de energia mais seguras, limpas e sustentáveis, como a energia nuclear, a energia solar, a eólica e a utilização de biomassa de origem orgânica.

2.2 O MERCADO DE PETRÓLEO NO BRASIL

A matriz energética brasileira baseia-se em cerca de 33% de fontes derivadas do petróleo, enquanto 48% são supridas por fontes renováveis tais como hidroelétrica, biomassa, eólica, segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2021). O Brasil diminuiu significativamente sua dependência externa de petróleo a partir de 2006, quando começou a explorar reservas no pré-sal. As ricas reservas em águas profundas das bacias de Campos e Santos colocaram o país numa posição confortável. Hoje o Brasil refina cerca de 95% do petróleo produzido em seu território e o pré-sal responde por 70% de todo o petróleo produzido no país. Na foz do Amazonas, também chamada de margem equatorial, é possível estimar que haja 6 bilhões de barris de petróleo.

Devido à sua grande extensão territorial, o Brasil apresenta diferentes níveis de demanda e oferta por derivados de petróleo, que varia dos grandes centros consumidores a regiões afastadas, como o Centro-Oeste, dependente de uma logística precária. A concentração das refinarias ocorre no litoral.

2.3 COMPORTAMENTO DO CONSUMO, PRODUÇÃO E PREÇO DO PETRÓLEO

A partir do início do Sec. XX, o petróleo passou a ser a principal fonte para a produção de energia. Observa-se que nas grandes crises da segunda metade do século, a produção esteve acima da demanda, o que favorecia os grandes consumidores. A partir dos anos 80 o cartel de produtores decidiu inverter estas curvas pelo ajuste da produção, mantendo-a abaixo do nível de procura, conforme observado na Figura 2 .

Este intervalo entre produção e consumo, desde então, tem estado entre 1 e 3 milhões de barris diários. Súbitas variações nestes estoques podem significar instabilidade do mercado.

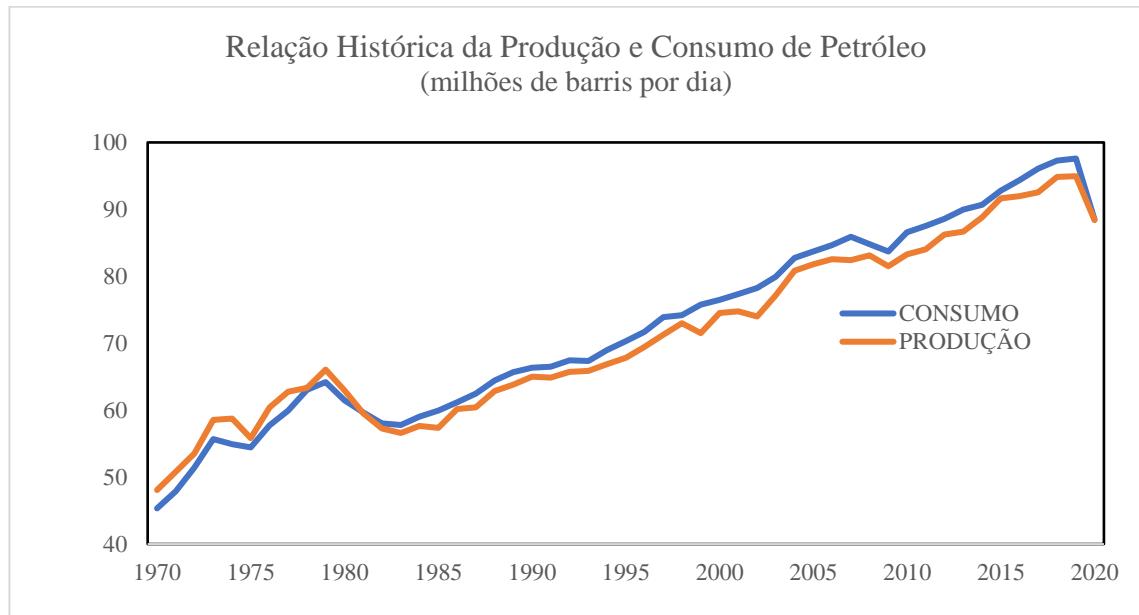


Figura 2: Relação histórica da Produção e Consumo de Petróleo; Fonte: Do Autor

Martins (MARTINS, 2008) mostra uma definição formal de um número *fuzzy* trapezoidal em que \tilde{A} , um subconjunto especial de números reais, possui as seguintes características em função de pertinência $f_{\tilde{A}}$,

- a) $f_{\tilde{A}}(x) = 0$, para todo $x \in (-\infty, A] \cup [d, +\infty)$;
- b) $f_{\tilde{A}}(x)$ é um segmento de reta crescente entre $[a, b]$ e um segmento de reta decrescente em $[c, d]$;
- c) $f_{\tilde{A}}(x) = 1$, para todo $x \in [b, c]$.

Para o presente caso $A=0$, $B=1000$, $C=3000$ e $D=4000$ em milhões de barris por dia, conforme mostra a Figura 3.

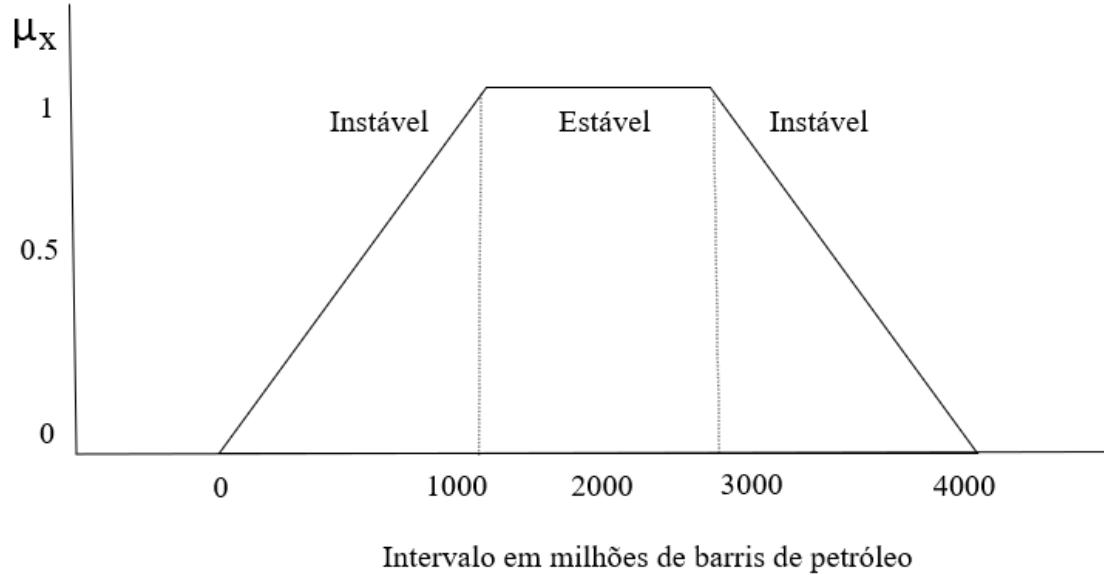


Figura 3: Curva de intervalo de milhões de barris de petróleo para os momentos de estabilidade e instabilidade; Fonte: Do Autor

2.4 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO PREÇO DO PETRÓLEO

A Figura 4 mostra que o preço do barril do petróleo sofre variações ao longo do tempo e pode-se notar que a faixa entre US\$40 e US\$60 é de uma maior estabilidade tanto para o produtor bem como para o consumidor, não resultando em instabilidade. O preço em US\$ corrigido para o valor atual do barril sofreu variações ao longo do tempo e a faixa entre US\$40 e US\$60 corresponde a tempos de maior estabilidade, tanto para o produtor como para o consumidor. Este comportamento pode também ser descrito por uma curva normal em notação fuzzy onde US\$50 por barril corresponde ao ponto de maior equilíbrio como expresso pela equação 1, em Tanaka (TANAKA, 1996), e pela Figura .

$$\mu_P = \int_x^n e^{-0.001(x - 50)^2} / x \quad \text{Equação 1}$$

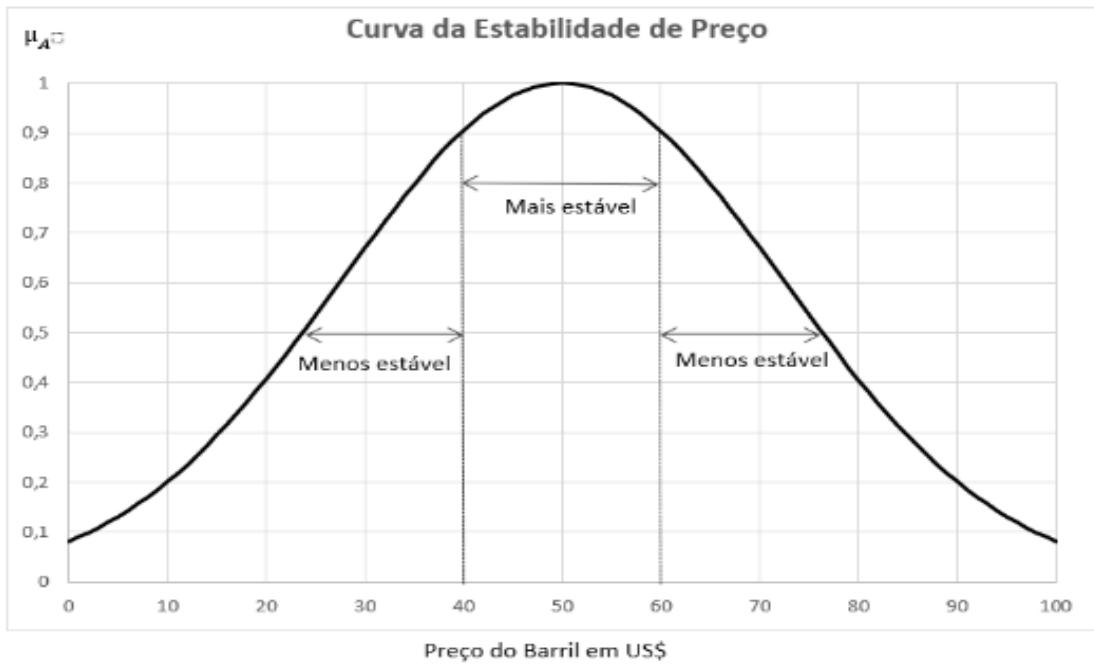


Figura 4: Curva de estabilidade do preço do barril de petróleo; Fonte: Do Autor

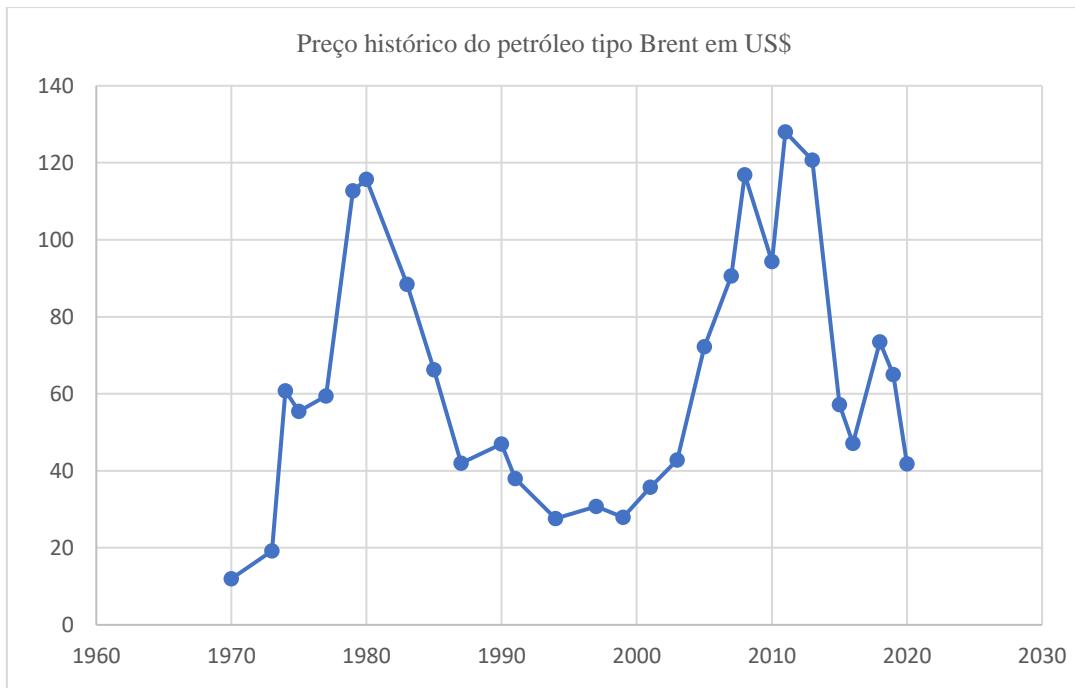


Figura 5: – Valor histórico do preço do barril de petróleo cru com valor atualizado para o período de 50 anos; Fonte: Do Autor

Devemos considerar que o preço praticado não é somente efeito de um ajuste simplista de oferta e procura, mas é influenciado por fatores diversos como geopolítica e fenômenos climáticos

2.5 SUPRIMENTO DE PETRÓLEO ÀS REFINARIAS

A força de uma economia, e, portanto, o total da riqueza acumulada, medida pelo Produto Interno Bruto (PIB), é função direta da competitividade e da eficiência dos diferentes setores nacionais, manifestados pelas diferentes expressões do poder nacional. As regiões ricas entregam à sua população energia a um custo mais baixo como resultado da eficiência de suas operações em cada setor da cadeia de valor do produto, operando mesmo com margens de lucro mais apertadas, mas em grande escala e com enorme eficiência.

A Figura 6 mostra o ciclo vicioso que ocorre em algumas regiões do Brasil, como por exemplo no Centro-Oeste, que tem infraestrutura ineficiente e enorme dificuldade na logística, o que produz forte influência no preço final do produto e na segurança de suprimento. De acordo com dados colhidos pelo IBGE (ESTATÍSTICA, 2020) Centro-Oeste hoje tem uma frota que corresponde acerca de 10% d de veículos com grande dificuldade de suprimento de combustível, o que reduz a competitividade de um importante centro produtor agropecuário. A Figura 7 mostra como um ciclo virtuoso de eficiência energética pode contribuir para a eficiência da economia e enriquecimento da sociedade.

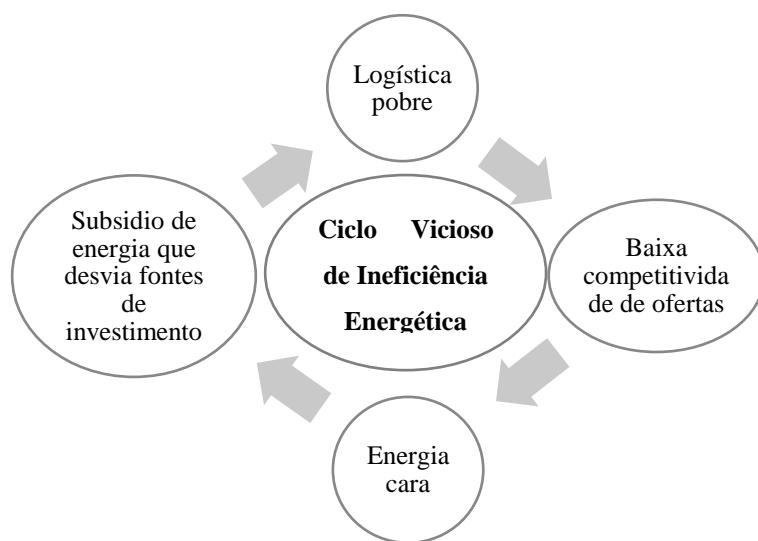


Figura 6: ciclo vicioso da ineficiência energética que contribui para a perpetuação da iniquidade e da pobreza em regiões subdesenvolvidas; Fonte: Do Autor

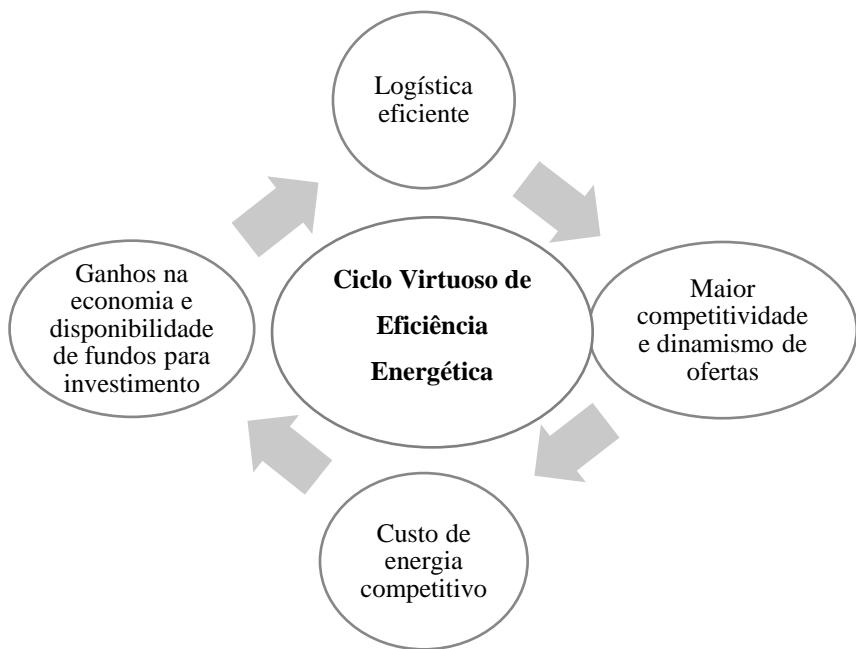


Figura 7: ciclo virtuoso de eficiência energética que contribui para a eficiência da economia e enriquecimento da sociedade. Fonte: Do Autor

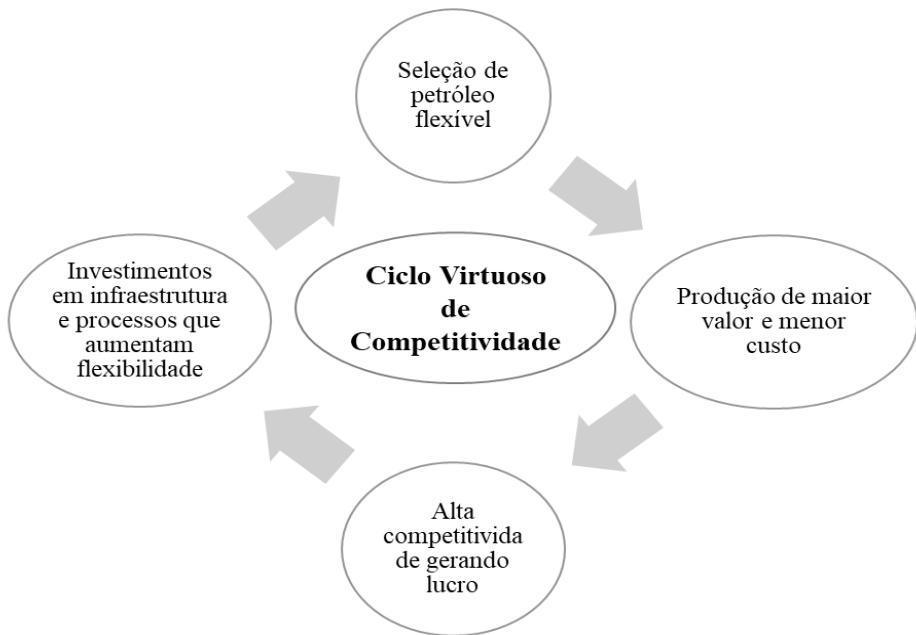


Figura 8: Ciclo virtuoso de competitividade de uma refinaria, Fonte: Do Autor

O mesmo conceito é válido no nível microeconômico de uma refinaria como mostrado na Figura 8. Uma seleção mais flexível de óleo cru permite a aquisição de matéria prima em custos mais acertados, e conduz a um maior valor total da produção, levando-se em conta a volatilidade do mercado, com variações diárias nos preços dos produtos, insumos e derivados. No médio prazo, esta flexibilidade operacional significa mais estabilidade financeira, capaz de financiar os necessários investimentos em infraestrutura e processos, o que permite aumentar ainda mais a flexibilidade na seleção de matéria prima, do preço mais adequado, da operação que vai conduzir a melhores margens de lucro.

2.6 SELEÇÃO E COMPRA DE ÓLEO CRU

O petróleo é a commodity de maior volume negociada no mundo. Embora o petróleo seja uma commodity de grande liquidez, o mercado é muito sensível a diversos tipos de variações, como o ambiente político, as condições meteorológicas, o ciclo de manutenção, e o equilíbrio entre suprimento e demanda.

Esta liquidez na prática é relativa, tendo em vista, por exemplo, a qualidade do óleo cru, a logística e o intervalo de suprimento. Cada refinaria tem uma lista específica de qualidades de óleos crus aprovados para processamento. Apenas estas qualidades podem ser compradas, reduzindo assim o espectro de ofertas a serem consideradas em uma compra. Adicionalmente, cada qualidade de petróleo possui um caráter próprio, chamado *assay*, tal como um DNA, que define um perfil de produção. Este aspecto define a operação de cada unidade, o armazenamento, as qualidades e quantidades de derivados produzidos. Este conjunto de variáveis determinam quão atraente é uma oferta de óleo cru, o que vai se refletir na margem de lucro calculada para cada oferta. Cada tipo de óleo cru permite a produção de diferentes derivados em diferentes proporções. Para cada oferta existe também um custo final do produto entregue, incluídos os custos logísticos e os prazos de pagamento. A margem de lucro no refino é obtida pela diferença entre o preço médio dos produtos refinados e o custo de matéria-prima e da produção. Este cálculo é normalmente executado por um programa computacional chamado de LP (*linear programming*). Dentro do processo de planejamento de uma refinaria, o LP gera um relatório chamado de “*pecking order*” que lista as diferentes margens para as diferentes qualidades e preços dos óleos crus disponíveis. Assim, de forma direta a margem de lucro pode ser determinada pela expressão:

$$ML_i = (\sum_{j=1}^n p_j \times y_j) - p_i - c_i \quad \text{Equação 2}$$

onde:

ML_i é a margem de lucro do óleo cru de qualidade i;

$\sum_{j=1}^n p_j \times y_j$ é o somatório do produto dos preços de venda dos derivados de petróleo j (p_j) pela sua fração de produção (*yield*) do derivado j (y_j);

p_i é o preço de compra do óleo cru de qualidade i;

c_i é o custo total de processamento do óleo cru de qualidade i.

Tipicamente nos contratos de compra e venda são negociados como:

$$p_j = q_j + d_j$$

$$p_i = q_i + d_i$$

onde:

q_j é uma cotação publicada de óleo cru precificando em dias acordados;

d_j é o diferencial unitário do preço do óleo cru j negociado entre as partes;

q_i é uma cotação publicada de derivado de petróleo precificando em dias acordados;

d_i é o diferencial unitário do preço do derivado de petróleo i negociado entre as partes.

Os diferenciais unitários do preço negociado podem ser negativos ou positivos dependendo da expectativa do mercado. Os preços negociados de compra e venda, assim como as margens de lucro calculadas pelo sistema LP e avaliações qualitativas de cada oferta são informações de alta sensibilidade comercial. Os estudos de caso deste trabalho usam margens de lucro e matrizes de oferta fictícias.

Cada região ou campo de extração de petróleo possui capacidades logísticas específicas para o transporte. Várias áreas produtoras têm acesso à logística marinha, tornando possível o transporte por navios, conectando sua produção diretamente ao mercado internacional, o que o torna mais líquido. Em outras regiões, como na província de Alberta no Canadá, os campos estão no interior, com insuficientes conexões a oleodutos. Desta forma, parte da produção precisa ser escoada por trem ou caminhão, opções menos eficientes e mais caras, o que baixa o valor do petróleo na origem.

A otimização e operação da refinaria envolve equipes multidisciplinares para a compra de petróleo, processamento e venda de produtos, conforme mostra a Figura 9.

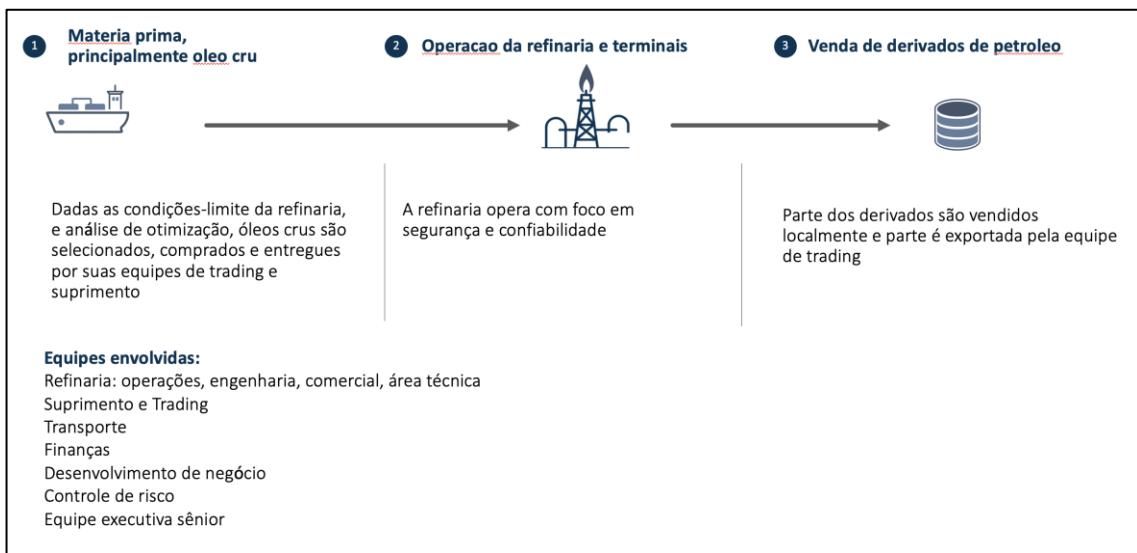


Figura 9: Desenho esquemático do processo de abastecimento, processamento e venda de derivados de petróleo em uma refinaria; Fonte: Do Autor

As refinarias possuem um método cíclico de planejamento de operação, tipicamente semanal, que é frequentemente afetado por mudanças inesperadas com diferentes graus de impacto. Estas mudanças geram a necessidade de revisão rápida do plano de operação por diversas equipes, com grau de análise complexa e profunda, onde cada tomada de decisão impacta a rentabilidade da refinaria em milhões de dólares, conforme as descrições esquemáticas mostradas na Figura 10 e na Figura 11.

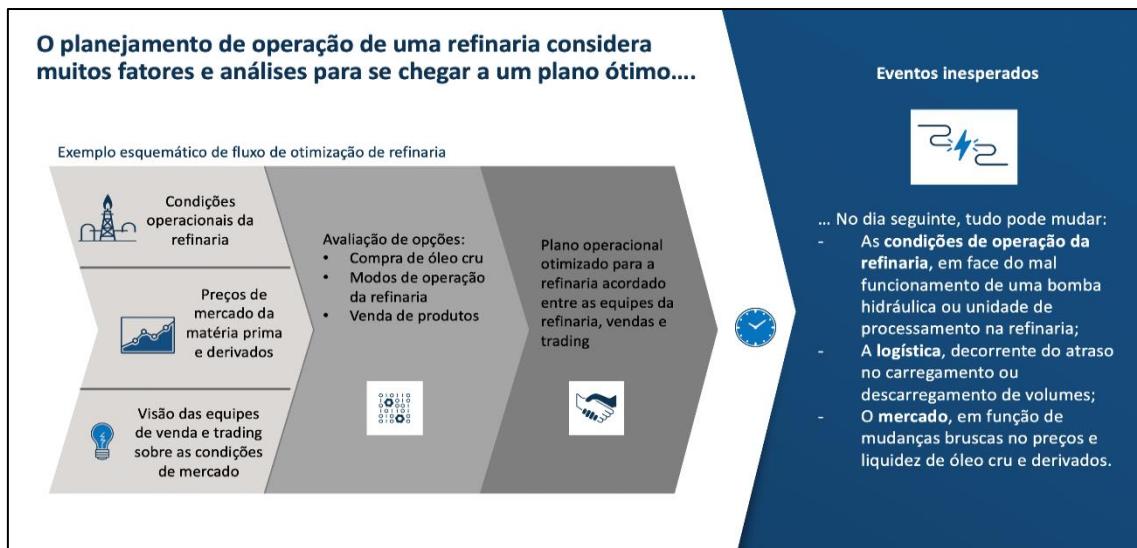


Figura 10: Exemplo esquemático de fluxo de otimização de refinaria; Fonte: Do Autor

O emprego de ferramentas analíticas que possam ajudar na tomada de decisão deste problema complexo e dinâmico podem ser de grande utilidade. A competitividade de uma refinaria depende de vários fatores, mas o processo de planejamento da operação, que inclui a tomada de decisão de compra do óleo cru é crucial na formação final da margem de lucro podendo no médio prazo determinar o sucesso e a sobrevivência da refinaria, pois quanto maior a margem de lucro de refino global maior será a produção de petróleo das refinarias. Isto tanto é verdade, que são comuns descomissionamentos de refinarias não competitivas.

Este trabalho é um aperfeiçoamento da decisão de compra de petróleo para o suprimento otimizado de refinarias por uma nova metodologia *fuzzy* e o emprego do modelo COPPE-COSENZA.

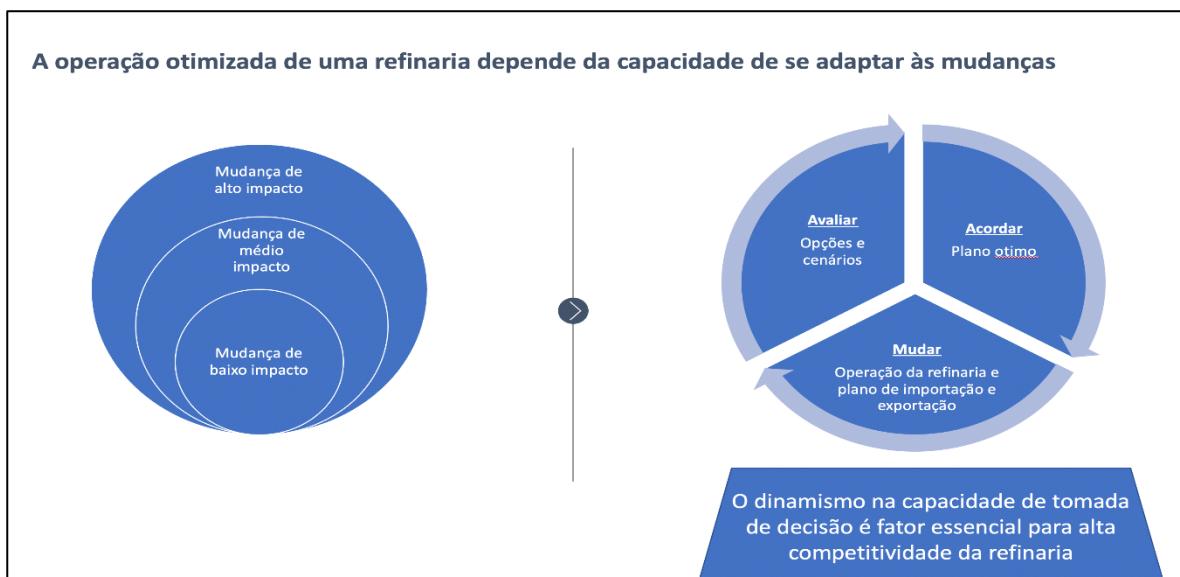


Figura 11: Adaptação do plano de operação da refinaria em razão de mudanças inesperadas;

Fonte: Do Autor

CAPÍTULO 3 - REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo será feita uma revisão da literatura abordando os princípios da lógica fuzzy e as suas aplicações em sistemas complexos para tomadas de decisão bem como será discutido o tema da segurança energética e o mercado de petróleo abordando a sua volatilidade em razão dos choques globais, dependência energética e será apresentado o Modelo Hierárquico COPPE-COSENZA.

3.1 - CONCEITOS DE LÓGICA FUZZY

Zadeh (ZADEH, 1975) estabeleceu que os princípios da Lógica *Fuzzy* podem ser compreendidos como uma tentativa de acomodar estimativas ou valores numéricos, capazes de descrever fenômenos observados com a subjetividade do sentimento humano, que utiliza uma complexa rede neural que o homem foi capaz de desenvolver com o seu cérebro por efeito do processo da evolução natural.

Ross (ROSS, 2010) afirmou que a técnica envolve conceitos sem limites claramente definidos e afirmações linguísticas que tentam expressar ideias subjetivas com diferentes interpretações para diferentes indivíduos. A linguagem natural é por vezes incompreensível, porque envolve sentimentos complexos, na medida em que descreve termos vagos e imprecisos. Por esta razão a *Fuzzy* bem como as redes neurais e a inteligência artificial têm sido usadas na tentativa de sistematizar o controle e o comando de sistemas que envolvem critérios difusos e pessoais, como em engenharia, arquitetura e na tomada de decisão de diferentes problemas na área de negócios.

Segundo Priscila Pinto (PINTO, 2019) o uso da lógica fuzzy possibilita uma melhor adaptação da realidade em sistemas complexos. Algumas de suas características são sua simplicidade, versatilidade, recepção de dados incompletos e imprecisos, um maior uso de dados fornecidos por especialistas e uso de termos linguísticos.

Este trabalho oferece uma perspectiva *fuzzy* para a análise do mercado de petróleo e aplica o método COPPE-COSENZA como ferramenta de auxílio na tomada de decisão de compra de uma carga de óleo cru para uma refinaria. A concepção do modelo COPPE-COSENZA teve como objetivo auxiliar os tomadores de decisão na seleção de locais para a construção de instalações industriais. Segue um processo de Três Etapas distintas: a primeira é a busca da melhor localização disponível; a segunda, selecionar a instalação industrial mais adequada para o local escolhido; e o terceiro, auxiliar os planejadores na

avaliação da construção de empreendimentos em diferentes localidades. Embora a literatura apresente alguns modelos pouco claros para a escolha do local, o modelo de COPPE-COSENZA (COSENZA e NASCIMENTO, 1975) fornece uma estrutura ajustável para avaliar opções de projeto e, acima de tudo, contempla decisões de voto. Cosenza, Neves e Lima (COSENZA, NEVES e LIMA, 2017) desenvolveram um estudo para estabelecer um modelo hierárquico para localização de centros industriais de biodiesel no Brasil. A aplicação do estudo considerou os sítios geográficos para a construção das unidades industriais, bem como os efeitos econômicos que resultariam desse cenário regional. O trabalho resultou em uma série de projetos de localização para produção de biodiesel, gerando diversos efeitos e impactos econômicos e sociais.

Brillo e Cosenza (BRILLO DE CARVALHO e COSENZA, 2014) desenvolveram uma ferramenta de tomada de decisão para identificar uma atividade industrial em regiões designadas. Os autores destacam que o método pode ser aplicado em diversas situações, sendo especialmente útil para criar um ranking de fatores em um processo multicritério, em qualquer tipo de relação de oferta e demanda.

Caggiani, Ottomanelli e Dell'Orco (CAGGIANI, OTTOMANELLI e DELL'ORCO, 2014) avaliaram atividades comerciais, como o transporte de cargas, sob diferentes conjunturas econômicas com base na maximização da entropia, aplicando análise fuzzy, concluindo que pode ser possível alcançar resultados mais próximos da realidade, ao aplicar a programação fuzzy em modelos complexos e de incerteza. Többen (TÖBBEN, 2017) analisou a composição dos preços das commodities, utilizando um modelo de aproximação simultânea, obtendo uma previsão de preços consistente.

De acordo com Huntington (HUNTINGTON, 2018) e Hamilton (HAMILTON, 1996), os preços de commodities como petróleo e gás estão fortemente ligados à incidência de eventos naturais, bem como a crises globais significativas. Esses eventos podem afetar o equilíbrio entre oferta e demanda. Mais recentemente, Ferrari, Francesco e Vespignani (FERRARI, RAVAZZOLO e VESPIGNANI, 2019) tentaram prever o preço da energia, comparando diferentes modelos numéricos para prever a commodity energética global, usando dados macroeconômicos. Considerando a precisão da projeção de preços, os resultados obtidos foram satisfatórios, tomando-se dados fornecidos pelo Fundo Monetário Internacional e pelo Banco Mundial.

Elaziz, Ewees e Alameer (ELAZIZ, EWEES e ALAMEER, 2019) criaram um sistema de inferência difusa de redes neurais para deduzir o preço do petróleo bruto, usando o modelo de Takagi-Sugeno. Os resultados demonstraram uma boa capacidade de

estimar flutuações do valor do petróleo. Chowdhury e Paul (CHOWDHURY e PAUL, 2020) trataram da aplicação do modelo multicritério para tomada de decisão (MCDM). Os autores apresentaram uma síntese dos critérios que devem ser utilizados. Segundo os autores, devem ser considerados: facilitadores e barreiras; a avaliação e o desempenho de iniciativas ou projetos, bem como seus impactos sociais; a formulação de sistemas e estratégias para iniciativas específicas e avaliação de desempenho.

Resolver sistemas complexos e reconhecer o grau de satisfação dos sentimentos pessoais constitui o principal uso da Lógica Fuzzy. Martin Rast (RAST, 2001) trabalhou com modelo neural fuzzy, adaptado pela percepção de especialistas para prever o comportamento do mercado de petróleo bruto. O trabalho mostra que isolar séries temporais em dois subconjuntos que replicam o estado do mercado, melhora a qualidade da previsão.

A análise dos resultados deve levar em conta o trabalho de Marques e Freitas (MARQUES e FREITAS, 2018) bem como Landeta (LANDETA, 2005) que utilizaram modelo Delphi na elaboração de um questionário para especialistas com o objetivo de se obter um consenso e convergência de opinião, entre diferentes especialistas dotados de informação qualificada. O emprego do modelo Delphi permite a reunião de um conjunto de opiniões de especialistas que possibilitam a obtenção de resultados mais densos acerca de questões complexas e mais abrangentes. Nesse sentido, o método é utilizado como uma ferramenta para se estruturar um processo de comunicação coletiva e permitir a um grupo de indivíduos lidar com um problema complexo. Nesse sentido, Boogaart, Slabbeekoor & Scherer (BOOGAART, SLABBEKOORN e SCHERER, 2023) estabeleceram uma multiplicidade de situações em que a consulta aos especialistas se mostra necessária para a construção de um método de avaliação. A importância na avaliação dos resultados aplicados utilizando o método Delphi é reforçado pelo trabalho de Bike e Ruichang (BIKE e RUICHANG, 2022) que demonstram que uma decisão apoiada em análises hierárquicas comparativas possibilita a seleção de melhores elementos na tomada de decisão final.

O uso de diferentes modelos que auxiliem nas tomadas de decisão também é utilizado por Chu e Lin (CHU e LIN, 2003) em uma seleção robotizada no emprego do modelo Fuzzy-TOPSIS. O mesmo modelo também foi adotado por Júnior e Carpenetti (JÚNIOR e CARPINETTI, 2015) com o objetivo de auxiliar a correspondente tomada de decisão.

3.2 - SEGURANÇA ENERGÉTICA

Radulesco e Sulger (RADULESCO e SULGER, 2022) demonstram que o futuro da segurança energética tem sido motivo de preocupação de diversos países que dependem do fornecimento de outras nações. Dessa forma, tem-se buscado uma redução da dependência de fontes não renováveis.

Em uma publicação, Wang et all. (WANG, WALLACE, *et al.*, 2020) abordaram os perigos econômicos ligados ao transporte e às ameaças políticas dos países exportadores de petróleo. Para ilustrar o problema, são propostos modelos de programação estocástica em dois estágios, e um teste é realizado para melhor compreender os efeitos dos riscos físicos.

Visando a segurança energética e a descarbonização, novos sistemas de aquecimento doméstico ganharam um interesse particular na Europa. Objetivando evitar altos custos surgiu recentemente o uso de um sistema de aquecimento doméstico com trocador de calor por difusão. Como pouco se sabe sobre a preferência dos proprietários de imóveis Côté e Brauwer (CÔTÉ e BRAUWER, 2023) fizeram um estudo analisando esse comportamento em três países, França, Alemanha e Suíça e os resultados demonstraram que os alemães optaram por alugar o sistema em 63,6% dos casos, seguido da França em 49% e da Suíça 33%. A preferência pelo aluguel é devida ao estágio inicial da difusão e ao alto risco dessa tecnologia.

Banna et all (BANNA, ALAM, *et al.*, 2023) demonstraram que a segurança energética envolve questões políticas, sociais, internacionais de modo a interromper o fluxo econômico de países. Dessa forma, para que seja alcançada uma estabilidade dentro de um ambiente sustentável é necessário que ocorram colaborações internacionais bem como o encorajamento de práticas sustentáveis. Vale lembrar que o mercado global de petróleo se mantém vulnerável a uma ampla gama de fatores de riscos tais como desastres naturais, grandes acidentes técnicos e tensões geopolíticas. Todavia, espera-se para as próximas décadas que o petróleo se mantenha como uma importante peça na condução da demanda global energética, principalmente para o setor de transporte.

McWilliams et all (MCWILLIAMS, SGARAVATTI, *et al.*, 2023) analisaram as implicações da segurança no suprimento energético na União Europeia com o advento da guerra entre a Rússia e a Ucrânia. Os desafios para a transição energética se mostram cada vez maiores, visto a importância geopolítica que envolve o tema. Uma das respostas para as emergências que envolvem segurança energética é o fornecimento ininterrupto de

fontes de energia a preços acessíveis. No longo prazo o fornecimento energético deve estar alinhado tanto com a evolução econômica bem como com o atendimento às questões ambientais. No curto prazo a segurança energética deve estar voltada para a pronta capacidade de reestabelecimento energético diante das mudanças buscando o equilíbrio entre a oferta e a procura.

Segundo Nasim et all (NASIN, ULLAH, *et al.*, 2023) a influência dos conflitos geopolíticos no preço das commodities bem como das interrupções na cadeia de suprimento afetam largamente não só economias emergentes bem como todos os demais países. Dessa forma, buscando minorar os efeitos negativos, os aplicadores de políticas públicas devem estar atentos a práticas seguras que envolvam o setor energético.

O conflito militar em Israel demonstra como a segurança energética de fornecimento de petróleo é vulnerável às questões geopolíticas. Vale lembrar que mais de 30% da produção mundial de petróleo é escoada pelo Estreito de Ormuz. Qualquer coisa que ali aconteça afeta o preço do barril de petróleo e a economia mundial. Isso se deve em razão de que não só o Canal de Suez, mas o estreito de Ormuz, no Irã, conecta o Golfo Pérsico ao Oceano Índico, sendo uma das principais rotas mundiais de comércio de petróleo.

A IEA ainda destaca o fato de que em 2023 os preços de petróleo estabelecidos nos mercados globais, após as crises da pandemia e o conflito na Ucrânia estão gradualmente se reestabelecendo aos seus níveis anteriores nas economias mais avançadas, o que demonstra um alívio de preço no mercado. Nesse sentido, dados da Agência indicam que os principais produtores de petróleo reestabelecerão suas capacidades de produção ainda que com uma queda na demanda, como fora observado na pandemia da Covid-19. De toda forma, a ocorrência de crises geopolíticas no Oriente Médio ainda desempenhará um papel crucial no equilíbrio dos mercados de petróleo bruto e seus derivados.

3.3 - VOLATILIDADE DO MERCADO DE PETRÓLEO

Caseta e Silva (CASETA e SILVA, 2022) demonstram que a crise sanitária decorrente da COVID-19 teve um impacto significativo no estabelecimento dos preços do petróleo. Vale destacar que a crise permitiu uma maior volatilidade no preço da commodity, o que denotou um significativo grau de incerteza quanto ao seu retorno. Nesse sentido, pode-se observar que à medida que as restrições foram sendo reduzidas, a dinâmica dos preços possibilitou a retomada de especulações e a novas projeções.

Li et all. (LI, LIANG, *et al.*, 2022) empregam diversos parâmetros para antecipar a flutuação mensal do petróleo bruto WTI e comparar o desempenho preditivo dos métodos de previsão combinados. Eles mostraram que o índice rastreador de volatilidade do mercado de ações do mercado de petróleo dos EUA (PMEMV) estatisticamente tem o melhor poder preditivo de curto prazo para a volatilidade do mercado de petróleo bruto, especialmente durante períodos de baixa volatilidade, não-crise e expansão econômica. No entanto, o índice de risco geopolítico (GPR) tem melhor desempenho na previsão da volatilidade do petróleo bruto de longo prazo do que outros indicadores de incerteza, na previsão de alta volatilidade de curto prazo do mercado de petróleo bruto.

Ainda de acordo com a IEA o mundo novamente se preocupou com a volatilidade do preço dos combustíveis criando intervenções em suas economias, porém foi observado que grande parte dos subsídios ao consumo estavam em economias emergentes e em desenvolvimento. Dentre as diferentes medidas adotadas pelos países foram identificadas isenções tributárias com vistas a aliviar as condições de pagamento.

Segundo Bouoiyour et all. (BOUOIYOUR, SELMI, *et al.*, 2019), nem todas as instabilidades geopolíticas podem ser encaradas como ações ou ameaças ao mercado de petróleo e gás. O mercado de petróleo é descrito como um fenômeno de comutação não linear no estudo, que analisa sua resposta às mudanças em cenários de baixo e alto risco.

Demirer et all. (DEMIRER, GUPTA, *et al.*, 2019) destacam que os aspectos geopolíticos internacionais têm relação com a volatilidade e o retorno do mercado de petróleo. Para tal finalidade, usam um teste de causalidade não paramétrico, aplicado a um conjunto de dados diários que abrange o período de 15 de maio de 1996 a 31 de maio de 2018 de seis índices de referência do petróleo.

Em decorrência das três grandes guerras de preços do petróleo que ocorreram entre outubro de 1991 e junho de 2020, Khan et all. (KHAN, AHMED, *et al.*, 2020) analisaram como a volatilidade do preço do petróleo bruto influenciou os retornos das ações das principais corporações globais de petróleo e gás. A volatilidade nos preços do petróleo durante guerras que envolvem valores do petróleo é capturada através de um modelo autorregressivo generalizado.

Joo e Park (JOO e PARK, 2021) investigaram os impactos da volatilidade do preço do petróleo nos mercados de ações. Os resultados mostram que o aumento da volatilidade do preço do petróleo tem um efeito negativo sobre os retornos das ações quando tanto a volatilidade quanto os retornos das ações são baixos.

Das, Sahu & Janghel (DAS, SAHU e JANGHEL, 2022) aplicaram a otimização fuzzy em um sistema baseado em inteligência artificial para prever o preço do petróleo e do ouro.

Historicamente, questões que envolvam conflitos no Oriente Médio tendem a aumentar a volatilidade dos ativos de forma que os grandes investidores deixem posições de ativos mais arriscados para aplicarem em economias fortes destinando-os para ativos mais seguros como ouro ou títulos de governo.

3.4 - ELASTICIDADE-PREÇO DA DEMANDA POR PETRÓLEO

Os modelos de previsão têm sido amplamente utilizados para identificar movimentos de tendência do petróleo bruto e entendidos como um mercado difuso, onde diferentes valores podem ser aplicados a diferentes condições para tomar a melhor decisão para uma opção de fornecimento. De acordo com Souza (SOUZA, 2016) elasticidade é uma medida utilizada para representar o quanto uma variável econômica responde às mudanças de outra variável econômica. O grau de inelasticidade preço da demanda é representado por valores menores do que 1.

Dessa forma, a identificação da variação do preço frente à demanda – a elasticidade preço-demanda – se mostra importante para um adequado nível de suprimento de petróleo cru, uma vez que esta commodity apresenta um comportamento (particular/peculiar) frente às variações no preço.

Samuelson e Nordhaus (SAMUELSON e NORDHAUS, 1993) afirmaram que alguns fatores devem ser considerados como determinantes da elasticidade, como os limitadores da produção, capazes de tornar a elasticidade mais rígida. No longo prazo, a substituição pode resultar em menor dependência.

Um trabalho elaborado por Cooper (COOPER, 2003) trata a elasticidade-preço da demanda de petróleo. O autor lembra que diferentes fatores devem ser considerados para que determine o nível de elasticidade-preço da demanda por petróleo, tais como os produtos substitutos, o tempo, participação no orçamento e o grau de necessidade, a elaboração de políticas que interfiram na elaboração do preço bem como na demanda entre outros fatores. O autor identificou pequenas variações no curto e longo prazo. Os resultados do trabalho mostraram que no curto prazo a inelasticidade é maior, visto ser o petróleo a principal fonte energética primária pois ainda representa cerca de 40% do consumo, devido ao seu largo emprego como matéria-prima na indústria petroquímica,

demonstrando a sua enorme dependência. No longo prazo torna-se possível o uso de produtos substitutos bem como a identificação de empregos de mais renováveis.

Em um trabalho, Caldara et all. (CALDARA, CAVALLO e IACOVIELLO, 2016) tratam a questão da elasticidade do petróleo e as respectivas flutuações no preço. De acordo com os autores, certas restrições relacionadas à oferta, anteriores à pandemia da COVID-19, respondiam de forma importante na relação elasticidade-preço no curto prazo para a oferta, que se apresentava como condição plausível de alteração de demanda, o que até então não era majoritariamente considerada para alteração nos movimentos de preços de petróleo. O autor ainda destaca que quedas no preço da commodity resultariam em retração nas economias emergentes, mas impulsionariam economias mais avançadas, embora ocorressem apenas via a oferta, o que explicaria os efeitos silenciosos das mudanças de preços de petróleo sobre a atividade econômica global. Comparando os resultados propostos pelo trabalho com as consequências econômicas resultantes da pandemia bem como com as alterações no preço real do petróleo, fruto de uma significativa retração da demanda, os efeitos econômicos globais têm se dado no decorrer do tempo pós pandemia, a partir de uma lenta recuperação a partir não da produção, mas sim da demanda.

Embora outros autores entendam que a elasticidade do suprimento de petróleo ocorra em razão de um impacto na produção devido a um aumento no preço, tal como ocorrido na crise do petróleo em 1973, Kilian (KILIAN, 2022) reconhece que um aumento no preço real pode desencadear uma alteração na demanda, mantendo constantes as outras variáveis. Por isso se debruça em definir a elasticidade-preço mês a mês, com vistas a identificar o impacto da produção de petróleo e a resposta na respectiva demanda em virtude da variação do preço real, considerada essa uma variação exógena.

Sun, Hao & Li (SUN, HAO e LI, 2022) apresentou uma abordagem híbrida para prever o intervalo de decomposição e propôs um modelo de programação multiobjetivo para auxiliar na tomada de decisão na formulação de um esquema de portfólio de suprimento de petróleo bruto. Os resultados obtidos sugerem que as técnicas de decomposição híbridas de predição são mais eficazes do que as técnicas de predição simples.

Kaviani et all (KAVIANI, YAZDI, *et al.*, 2019) propôs uma abordagem integrada de tomada de decisão multicritério para avaliação e seleção de fornecedores na indústria de petróleo e gás e, fazendo uso de dados reais, as empresas conseguiram encontrar os melhores/ótimos fornecedores do setor. Os resultados da pesquisa oferecem aos

fornecedores menos eficientes um modelo de referência para aprimorar suas práticas operacionais e alcançar melhores resultados gerais.

Com base nos dados de valores de petróleo importado de 34 grandes países compradores de petróleo de janeiro de 2005 a junho de 2017, Du et all. (DU, DONG, *et al.*, 2019) avaliou as funções de correlação cruzada das defasagens temporais e elaborou uma sequência de redes de correlação de importação de petróleo em evolução temporal de acordo com as semelhanças entre os países. Os resultados obtidos por eles indicam que a distribuição de probabilidade do efeito de defasagem temporal não é afetada por correlações positivas, mas sim por correlações negativas.

Berk e Çam (BERK e ÇAM, 2020) exploraram os avanços no mercado global de petróleo, investigando como o preço de 2014-2016 entrou em colapso, e o acordo subsequente da OPEP afetou a estrutura do mercado de petróleo bruto. O estudo foi importante para analisar a produção de petróleo da Arábia Saudita e da Rússia naquele momento, que apresentava uma estabilidade parcial.

Um artigo escrito por Vasiljeva et all. (VASILJEVA, KUZNETSOV, *et al.*, 2022) explica os motivos pelos quais a produção de petróleo impacta o desenvolvimento sustentável dos países da OPEP em situações de incerteza. A sustentabilidade foi avaliada por meio de análise de regressão em painel, considerando os parâmetros de preços do mercado mundial de petróleo e as ferramentas de controle.

Zhang, Wei e Peng (ZHANG, WEI e PENG, 2020) estudaram o comércio chinês de petróleo bruto entre 1995 e 2011, utilizando um modelo global de insumo-produto multirregional. Os dados indicam que cerca de 20% a 33% do petróleo importado pela China é reexportado por meio da oferta de bens e serviços para atender à demanda externa. Os dados também apontam que a China é um importante centro de distribuição de petróleo bruto, transportando-o dos locais de extração para os consumidores globais, especialmente em países desenvolvidos.

Segundo as estatísticas da British Petroleum (PETROLEUM, 2021), a China se tornou o segundo maior consumidor de petróleo do mundo em 2002, ultrapassando o Japão, e em 2009, tornou-se o segundo maior importador do produto, o que gerou inquietações acerca da segurança energética da China. Yuan et all. (YUAN, ZHANG, *et al.*, 2019) também usando dados da BP afirmou que interrupções no fornecimento internacional de petróleo podem criar fortes pressões sobre o mercado para os países importadores, especialmente a China, cuja alta dependência do petróleo importado torna sua segurança uma questão urgente.

Utilizando dados sobre o comércio de energia fóssil em 2020, Zheng et all. (ZHENG, ZHOU, *et al.*, 2022) simulou o impacto das sanções no comércio nacional e nos padrões globais de comércio de energia fóssil com base na teoria de redes complexas, e no modelo de falha em cascata, propondo que, para mitigar o impacto das sanções, a Rússia pode mudar seu foco de exportação de energia fóssil para a China e outros países asiáticos. Os trabalhos de Wang et all. (WANG, MA, *et al.*, 2021) passaram por uma investigação abrangente sobre a causalidade entre o mercado futuro de petróleo bruto e o sentimento dos investidores sob choques extremos. Ao dividir os dados em vários pares de choques extremos positivos, negativos extremos e normais, eles introduziram uma abordagem de causalidade de Granger estendida nos domínios de tempo e frequência estudados.

Wang et all. (WANG, TIAN, *et al.*, 2020) analisou as variações de preços no mercado de petróleo bruto ao longo de uma série temporal de 32 anos, convertendo uma rede de preços à vista e futuros correspondente. Ao ocorrer uma instabilidade financeira no mercado de petróleo bruto, o mercado de preços estáveis é prejudicado e pode entrar em colapso. Para prever os retornos do mercado de petróleo bruto, Wen et all. (WEN, LIU, *et al.*, 2022) apresentou duas técnicas de média móvel aprimoradas.

Youssef e Mokni (YOUSSEF e MOKNI, 2019) examinaram o papel do mercado de petróleo na derivação da ligação dinâmica entre os mercados de ações dos países exportadores e importadores de petróleo. Eles observaram principalmente a relação entre os mercados de ações de petróleo e entre os mercados de ações de países importadores e exportadores de petróleo. Ademais, foi observado que a reação do mercado de ações às variações dos preços do petróleo é mais acentuada em países importadores do que em países exportadores durante momentos de instabilidade.

3.5 - REDES NEURAIS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Métodos e algoritmos matemáticos têm sido largamente empregados nas operações correntes no mercado de ações e mesmo no mercado de papéis derivativos dos mercados de commodities. A literatura mostra tentativas de uso de inteligência artificial e redes neurais na análise do mercado de commodities físicas. Brevemente estaremos todos envoltos em aplicações de inteligência artificial, como efeito de todo esforço de pesquisa da última década

Mustafa Suleyman (SULEYMAN, 2023), vice-presidente de AI Google da Google e CEO da DeepMind, empresa líder mundial em Inteligência Artificial (AI), afirmou em recente publicação que as aplicações da inteligência artificial estão no centro da próxima onda tecnológica. O termo foi inicialmente usado em 1955 e sempre pareceu uma promessa distante. Por anos a capacidade de computadores reconhecerem objetos e cenas desenvolveu-se de forma mais lenta que o esperado. A ruptura e o avanço nas aplicações iriam ocorrer somente em 2012 com o desenvolvimento do sistema chamado AlexNet que usou uma técnica já conhecida e que iria dar origem ao que hoje se chama *deep learning*. Em uma tradução livre, a *aprendizagem profunda* usa redes neurais na forma como são processadas as informações no cérebro humano, sistemas capazes de aprender com treinamento. Em termos simples, o treinamento pode ser com imagens onde cada pixel vermelho, verde ou azul recebe um valor que irão compor uma matriz que é alimentada na rede como entrada. Dentro da rede, neurônios se ligam a outros neurônios por uma série de conexões ponderadas, cada uma das quais corresponde à força da relação entre as entradas. Suleyman lembra que as tecnologias estão no centro dos padrões históricos do desenvolvimento, através do qual a humanidade foi progressivamente conquistando o domínio do átomo, dos bits, dos genes, sobre os quais foram construídos os blocos do conhecimento do mundo que hoje conhecemos. O autor ensina finalmente que o desafio em lidar com a nova onda tecnológica que se avizinha está simplesmente em entendê-la e saber como adequadamente usá-la, dentro de valores humanitários e princípios éticos.

Zhang, Chen, & Xu (ZHANG, CHEN e XU, 2022) discutiram a questão moral envolvida no uso de inteligência artificial (IA) para tomadas de decisão. Os resultados demonstram que o emprego de IA se mostra mais capaz de uma melhor tomada de decisão, em questões de dilema moral, do que quando envolvida uma tomada de decisão humana, porém subjetiva, consideradas as limitações na aplicação da pesquisa.

Franke, Franke, & Riedel (FRANKE, FRANKE e RIEDEL, 2022) lembram que em grandes empresas uma importante questão é otimização das tomadas de decisão. O crescente emprego de IA tem-se mostrado necessário visto a complexidade envolvida no planejamento da produção. Entretanto, diante da necessidade de compreender a complexidade das opções, a criação de algoritmos mais complexos é cada vez necessário para as melhores tomadas de decisão, a partir de opiniões humanas subjetivas, porém também complexas.

De acordo com Marie (FRANCISCO, 2023) o mundo certamente se beneficiará com o uso de inteligência artificial. Porém a segurança humana se mostra necessária frente a certos limites e indicadores que a IA pode desconsiderar, quando diante de uma perspectiva mais humana.

Panella et al. (PANELLA, BARCELLONA e D'ECCLESIA, 2012) também usaram inteligência artificial em redes neurais em uma modelagem para previsão do preço de commodities. A combinação de redes neurais com o modelo gaussiano foi capaz de fornecer resultados promissores. Os resultados destes trabalhos mostram melhor capacidade de se preverem flutuações nos preços do petróleo bruto.

A literatura mostra tentativa de uso de inteligência artificial e redes neurais na análise do mercado físico de commodities, mas essencialmente a negociação de petróleo bruto não possui um programa de computador documentado na forma subjetiva de avaliar opções de negociação, além do ranking de margem de lucro. Aung, Mikhaylov e Aung (AUNG, MIKHAYLOV e AUNG, 2020) utilizaram métodos de Inteligência Artificial (IA), como redes neurais e máquinas de vetores de suporte, e suas principais aplicações no setor de petróleo e gás. O chamado *pecking order* bruto é limitado a classificar as opções de compra de petróleo bruto de acordo com sua margem de lucro esperada, assumida a um determinado preço. Outros fatores cruciais na seleção, juntamente com a margem de lucro, definem qual opção é comprada em última instância.

Nos últimos anos, a programação de refinarias tem gerado crescente inquietação nas comunidades acadêmica e industrial. Gao et all. (GAO, HUANG, *et al.*, 2017) criou um sistema de tomada de decisão que utiliza informações prévias das refinarias para orientar o processo de programação.

Segundo Andrade et all (ANDRADE, ANDRADE, *et al.*, 2023) a aplicação de um modelo hierárquico não tradicional ao mercado de petróleo pode resultar em uma significativa economia para as refinarias. A utilização do modelo sugerido pode resultar em aumento nas margens de refino.

Em outro trabalho Andrade et all (ANDRADE, ANDRADE, *et al.*, 2023) indica que as tomadas de decisão em modelos fuzzy são capazes de semi-automatizar processos de atividades complexas que envolvem valores em torno de bilhões de dólares diários.

3.6 - MODELO HIERÁRQUICO COPPE-COSENZA

O modelo de hierarquização COPPE-COSENZA avalia o nível de atendimento de alternativas de suprimento e oferta relacionado a um conjunto de fatores objetivos e subjetivos. Estes fatores são considerados para a tomada de decisão de forma realizar um confronto entre demanda e oferta relacionada a fatores concernentes à margem, logística e riscos da atividade, entre outros fatores.

Para o cotejo entre demanda e oferta, são definidos:

- a. $A = (a_{hi})_{l \times n}$: matriz que representa a demanda industrial de l modais logísticos, por n fatores;
- b. $B = (b_{ij})_{n \times m}$: matriz que representa a oferta de n fatores por m opções de suprimento;
- c. $F = \{f_i \mid i = 1, \dots, n\}$: conjunto finito de fatores gerais de localização denotados genericamente por f_i .

Com abordagem *fuzzy*, é estabelecido o conjunto *fuzzy* \tilde{A} de pares ordenados:

$$\tilde{A} = \{f_i, \mu_{\tilde{a}}(f_i) \mid f_i \in F\} \quad \text{Equação 5}$$

Onde \tilde{A} é a notação *fuzzy* da matriz de demanda A, e $\mu_{\tilde{a}}(f_i) \in [0, 1]$ e representa o grau de importância do fator i, descrito neste exemplo pelos seguintes níveis linguísticos:

- Crítico: a existência do fator em níveis elevados é indispensável para a atratividade da oferta;
- Condicionante: a existência do fator em níveis significativos é desejável para a atratividade da oferta;
- Pouco condicionante: a existência do fator não é determinante para a atratividade da oferta, mas pode indicar condições favoráveis de conveniência ou competitividade;
- Irrelevante: o fator não impacta significativamente a atratividade da oferta.

A Tabela 1 é um esquema geral da matriz fuzzy \tilde{A} de demanda.

Tabela 1: Matriz fuzzy de demanda por fatores. Fonte: (COSENZA, DORIA e PESSÔA, 2015)

	f₁	f₂	...	f_n
A₁	a ₁₁	a ₁₂		a _{1n}
A₂	a ₂₁	a ₂₂		a _{2n}
...
A_l	a _{l1}	a _{l2}		a _{ln}

L₁, L₂, ..., L_l: conjunto de opções de demanda

f₁, f₂, ..., n: conjunto de fatores

a: grau de importância do fator para o projeto.

O conjunto fuzzy \tilde{A} é representado por um número fuzzy constituído pelos graus de importância dos fatores. Quanto maior é a importância de certo fator, maior é a sua pertinência ao conjunto, considerando os considerados níveis de: criticidade; condicionante; pouco condicionante; irrelevante.

Da maneira semelhante, consideramos B para a oferta onde \tilde{B} é a notação fuzzy da matriz de oferta sendo $\mu_{\tilde{B}}(f_i) \in [0, 1]$ e representa o grau de disponibilidade (ou oferta) dos fatores das alternativas. Este conjunto também pode ser representado por um número fuzzy triangular cujo suporte contém quatro níveis linguísticos: fraco, regular, bom e excelente.

A Tabela a seguir é um esquema geral da matriz fuzzy \tilde{B} de oferta.

Tabela 2: Modelo hierárquico para organização por alternativas locacionais; Fonte: (COSENZA, DORIA e PESSÔA, 2015)

	B₁	B₂	B_k	B_m
f₁	b ₁₁	b ₁₂	b _{1k}	b _{1n}
f₂	b ₂₁	b ₂₂	b _{2k}	b _{2n}
f_j	b _{j1}	b _{j2}	b _{jk}	...
f_n	b _{n1}	b _{n2}	b _{jk}	b _{nm}

B₁, B₂, ..., B_m: conjunto de alternativas de oferta

f₁, f₂, ..., f_n: conjunto de fatores oferecidos

b_{jk}: coeficiente fuzzy da alternativa k em relação ao fator j.

Com as duas matrizes pode-se realizar o confronto entre a demanda e a oferta para cada fator. Essa operação é denotada por $A \otimes B = C$ onde C_{ik} representa o grau de atendimento da alternativa de suprimento j à logística h , em relação ao fator i . Nesse sentido, para cada f_i gera-se uma matriz $C = (c_{hj})_{lxm}$. Para tal operação, pode-se empregar a Tabela 3, que mostra a matriz de relações de pertinência (matriz de cotejo).

Tabela 3: Matriz de relações de pertinência para o cotejo entre demanda e oferta.

Fonte: (COSENZA, DORIA e PESSÔA, 2015)

		Oferta de fatores (\tilde{B})				
		$a_{ij} \otimes b_{jk} = c_{jk}$	...	$\mu \tilde{b}(f_i)$	...	1
Demanda por fatores \tilde{A}	...	1	c_{hj}	c_{hj}	c_{hj}	c_{hj}
	$\mu \tilde{A}(f_i)$	c_{hj}	1	c_{hj}	c_{hj}	c_{hj}
	...	c_{hj}	c_{hj}	1	c_{hj}	c_{hj}
	1	c_{hj}	c_{hj}	c_{hj}	c_{hj}	1

$$\text{Onde: } c_{hj} = 1 + [\mu \tilde{A}(f_i) - \mu \tilde{B}(f_i)]$$

$$1. \mu \tilde{o}(f_i) = \mu \tilde{A}(f_i)$$

Nesse caso, $c_{hj} = 1$ e a alternativa de suprimento j atende ao projeto h no nível requerido.

Sendo assim, o grau de atendimento é **suficiente**.

$$2. \mu \tilde{o}(f_i) < \mu \tilde{A}(f_i)$$

Nesse caso, $c_{hj} < 1$ e a alternativa de suprimento j não atende ao projeto h no nível requerido.

Sendo assim, o grau de atendimento é **insuficiente**.

Nesse caso, $c_{hj} > 1$ e a alternativa de suprimento j atende ao projeto h , em um nível acima do requerido. Sendo assim, o grau de atendimento é **superior**.

Na matriz C (resultado do cotejo), o valor máximo de c_{hj} em determinada coluna indica o melhor tipo de projeto para a alternativa locacional correspondente a essa coluna. Por outro lado, o valor máximo de c_{hj} em determinada linha indica a melhor localização para o tipo de projeto correspondente a essa linha.

Por fim, é possível realizar uma operação para agregar a demanda por todos os fatores e a oferta de todos os fatores e obter, assim, índices de opções de suprimento que refletem

o resultado da análise. Os índices são os elementos δ_{hj} da matriz Δ_{pxm} calculados da seguinte forma:

$$\delta_{hj} = \frac{[\text{somatório de todos os } \mu_{\tilde{A}}(f_i) \text{ referentes a opção de suprimento } j]}{[\text{somatório de todos os } \mu_{\tilde{B}}(f_i) \text{ referentes a opção logística } h]}$$

Equação 3

Para os somatórios as seguintes regras são definidas:

1. O somatório de todos os graus de pertinência referentes aos fatores irrelevantes deve ser menor ou igual ao grau de pertinência referente a um fator pouco condicionante.
2. O somatório de todos os graus de pertinência referentes aos fatores pouco condicionantes deve ser menor ou igual ao grau de pertinência referente a um fator condicionante.

CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA

Este capítulo vai abordar a metodologia usualmente empregada para a tomada de decisão de suprimento de petróleo, demonstrando que o modo como atualmente é feita pode gerar perdas consistentes e significativas para as refinarias em cerca de centenas de milhões de dólares. Devido ao sentimento individual e momentâneo da equipe de planejamento e trader que trabalham regularmente sob pressão fatores relevantes podem não ser levados em conta adequadamente. A partir da aplicação do Modelo Hierárquico COPPE-COSENZA, utilizando o Método de Seleção de Suprimento em Três Etapas, a tomada de decisão vai abordar fatores capazes de oferecer uma melhor gestão.

4.1 – DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO

Nas transações com petróleo e outras commodities físicas é pouco comum o emprego de modelos preditivos, em comparação com o negócio de commodities de papéis.

O processo usual é simplesmente escolher a oferta com maior margem de lucro ML_i dentre as opções disponíveis e da adequação técnica possível. No entanto, no mercado real, profissionais experientes chegam à decisão final utilizando um conjunto de fatores qualitativos, ponderados mentalmente, utilizando as informações disponíveis e seu próprio sentimento.

Por outro lado, é sabido que seres humanos, inclusive os mais experientes podem fazer maus julgamentos. Por exemplo, uma importância muito alta tende a ser dada a eventos recentes e experiências pessoais boas ou más, a despeito de uma realidade histórica mesmo baseada em estatísticas.

Nas atuais práticas de planejamento e negociação de refinarias, os petróleos são tipicamente classificados de acordo puramente com a viabilidade e a margem de lucro de refino esperada.

As refinarias tipicamente fazem um ciclo de planejamento mensal e semanal. Os *traders* informam semanalmente os preços dos diferentes óleos crus e dos derivados de petróleo produzidos. São avaliadas dezenas de qualidades de óleos crus e derivados. Os preços são tipicamente informados como a soma de um marcador de preço reconhecido e publicado regularmente por uma agência especializada como Platts ou Argus, somado ou subtraído de um diferencial fixo. Esses preços, assim como outros pressupostos são utilizados para rodar um programa complexo, chamado LP (*linear programming*) que

modela as unidades da refinaria e estima a margem de lucro de refino para cada qualidade de óleo cru.

Em seguida, as diferentes qualidades são avaliadas de acordo com a margem de lucro calculada. As qualidades que oferecem margens mais altas são então avaliadas do ponto de vista técnico, levando em conta a compatibilidade de operação daquela variedade de óleo. Finalmente, as qualidades mais atraentes são consideradas para compra. Muitas vezes, existem qualidades de óleos crus que apresentam margens de refino teóricas atraentes, mas que não são tecnicamente bem adequados a uma dada refinaria.

A partir daí, os *traders* consideram tanto a margem quanto uma série de outros fatores e buscam assim comprar a oferta de óleo cru mais favorável para a refinaria.

Quando determinadas qualidades com frequência apresentam incompatibilidade técnica, estudos de adaptação devem ser conduzidos e poderão requerer investimentos de médio ou longo prazo, capazes de aumentar a flexibilidade e consequentemente a competitividade da refinaria.

Em um dado momento, uma refinaria pode por exemplo estar próxima de um ciclo de manutenção e ter uma unidade já ao fim de sua vida que limita os tipos de matéria prima que podem ser processados. Outra limitação é o último cru processado. Após uma campanha de processamento com um óleo muito leve, pode se preferir um óleo mais pesado e vice-versa, para manter as unidades da refinaria dentro de parâmetros técnicos seguros. Limitações momentâneas também podem ser logísticas, como a manutenção de um píer ou de um tanque limitando o tamanho e tipo de carga que pode ser recebida.

Segundo operadoras da área de petróleo, o não emprego de um modelo amigável e eficiente se justifica diante da velocidade e dos volumes negociados. Um modelo computacional *fuzzy* de previsão do comportamento do mercado de petróleo poderia ser útil e trazer maior facilidade e eficiência para estas operações.

4.2 – CONCEPÇÃO DA MODELAGEM

Uma nova metodologia foi desenvolvida nesse estudo para classificar opções de commodities físicas que é um aprimoramento das práticas atuais, uma vez que incorpora à avaliação formal de classificação bruta considerações não numéricas complexas que geralmente não são bem documentadas ou comunicadas internamente e estão sujeitas a vieses inconscientes.

Os fatores mais importantes para uma dada oferta são a margem de refino e se a qualidade do óleo cru está tecnicamente aprovada e se aquela qualidade de cru se adequa bem à situação da refinaria. Cada óleo cru possui características muito específicas, como a composição de suas moléculas (mais pesadas ou leves), a quantidade de enxofre e conteúdo de produtos químicos aromáticos, como benzeno. O primeiro passo na aprovação do óleo cru, é a análise de seu perfil de qualidade, chamado de *crude assay*. O próximo passo é a execução de testes do cru pela refinaria, observação do impacto na produção e potenciais danos às instalações. Ao final destes testes, o cru pode ser aprovado, aprovado com restrições (por exemplo só pode ser usado após uma campanha com um óleo mais leve), ou não aprovado.

O trabalho propõe uma nova ferramenta *fuzzy* para a seleção de óleos crus para suprimento de refinarias utilizando Três Etapas.

O fluxograma apresentado na Figura 12 demonstra a otimização operacional das refinarias bem como a contribuição deste trabalho, que se encontra a partir da aplicação da Seleção Técnica Fuzzy e do Ranqueamento Fuzzy COPPE-COSENZA. A partir do emprego do modelo de seleção em Três Etapas, o tomador de decisão tem informações mais qualificadas o que permite uma melhor escolha dos óleos crus.

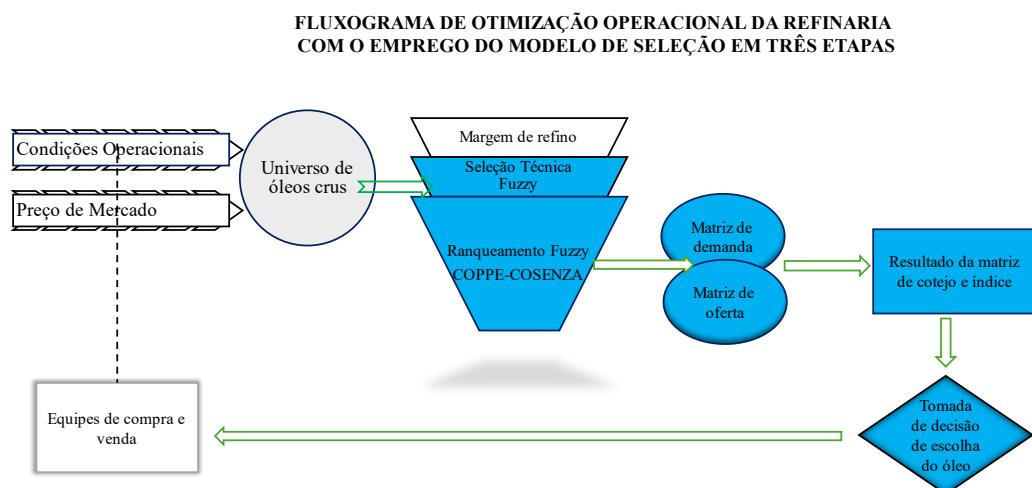


Figura 12: Fluxograma de otimização operacional da refinaria com o emprego do modelo de seleção em Três Etapas; Fonte: Do Autor

Atualmente o processo de escolha dos óleos engloba as etapas da ranking de margem de refino, filtro simples de seleção técnica e avaliação subjetiva do trader. A nova metodologia aborda as etapas do ranking de margem de refino, seleção técnica fuzzy e seleção de óleo cru por ranqueamento fuzzy. A figura 13 demonstra o processo atual e a proposta da nova metodologia de seleção de óleo cru, com a aplicação das inovações do modelo.

PROCESSOS DE SELEÇÃO DE ÓLEO CRU

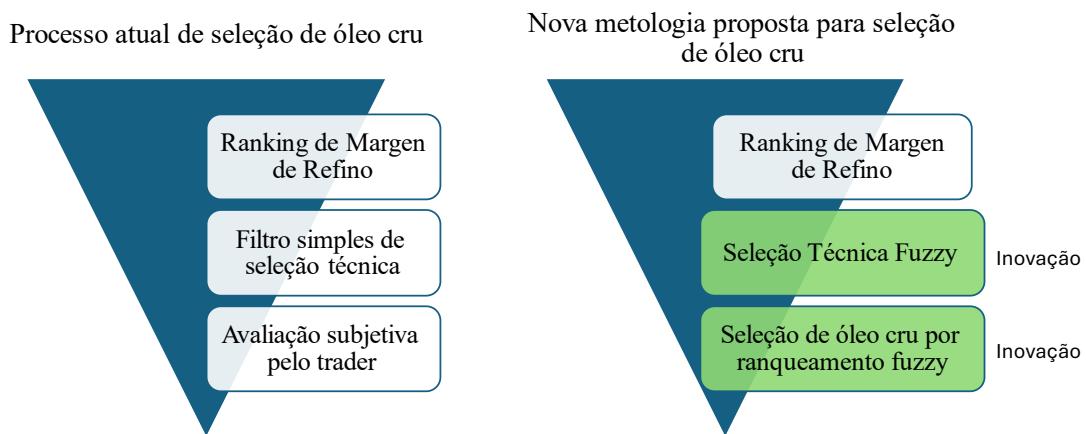


Figura 13: Processos de seleção de óleo cru; Fonte: Do Autor

Esse método proposto acelera e melhora as decisões de compra, assim como melhora a comunicação interna da tomada de decisão, especialmente quando é selecionado um óleo cru que não oferece a melhor margem de refino. Foram utilizados na criação do método dois consultores especialistas. Um dos consultores possui larga experiência em estratégia global e comercialização de derivados de petróleo, tendo formação de Engenharia Mecânica. O outro consultor trabalha atualmente em otimização de refinarias e seleção de óleos crus, tendo formação de Engenharia Mecânica e Econômica.

O modelo de seleção aqui proposto utiliza Três Etapas como mostra a Figura 14.



Figura 14: Método Hierárquico de Seleção de óleos crus em Três Etapas; Fonte: Do Autor

As tabelas de correspondência de variáveis linguísticas e numéricas aparecerão como critério subjetivo do especialista e poderão assumir diferentes valores dependendo do caso específico e sentimento do avaliador. Numa situação real, outros valores linguísticos e numéricos podem ser dados quando aplicado o Método Hierárquico de Seleção de óleos crus em Três Etapas.

4.2.1 ETAPA 1: FILTRO DE MARGEM DE REFINO

A Etapa 1 da metodologia proposta utiliza a margem de refino esperada, calculada pelo programa de *linear programming* (LP), para uma grande quantidade de crus, que pode chegar próximo a uma centena de qualidades. As qualidades são ranqueadas de

acordo com sua margem esperada. Uma avaliação linguística é então dada para cada faixa de margem de refino esperada.

\tilde{M} é a notação *fuzzy* da matriz M, e $\mu_{\tilde{M}}(f_i) \in [0, 1]$ e representa o nível de margem de lucro calculada e dada para a qualidade de óleo cru i, como por exemplo os descritos na Tabela 4 pelos seguintes níveis linguísticos e valores *fuzzy* a partir da opinião de especialistas, que serão utilizados na sequência da aplicação do método:

Tabela 4: Nível linguístico e conjunto *fuzzy* relativos à margem de lucro calculada é dada; Fonte: Do Autor

Nível Linguístico da Margem de Lucro	Conjunto Fuzzy μ de Margem de Lucro
Boa	1,0
Regular	0,5
Fraca	0,0

Como critério aqui adotado, apenas as qualidades que oferecem margens consideradas regulares ou boas passam para a segunda etapa de seleção. Desta forma, só passam para a próxima etapa de seleção técnica o conjunto de M onde $\mu_{\tilde{M}}(f_i) \in [0,5, 1]$

4.2.2 ETAPA 2: MATRIZ DE SELEÇÃO TÉCNICA

A Etapa 2 é realizada plotando-se um conjunto de pares ordenados, onde a ordenada da matriz de seleção técnica é a margem de refino ML_i e a abcissa é a viabilidade, obtida pela soma dos valores *fuzzy*:

$$V_i = \mu_{AP}(q_i) + \mu_S(q_i)$$

onde

V_i é a viabilidade do óleo cru de qualidade q_i ;

$\mu_{AP}(q_i)$ é o nível de aprovação do óleo cru q_i representado pelo grau de pertinência *fuzzy* no conjunto AP dos óleos que passaram o filtro da Etapa 1;

$\mu_S(q_i)$ é o nível de adequação do óleo cru q_i à situação da refinaria, representado pelo grau de pertinência *fuzzy*, no conjunto AP dos óleos que passaram o filtro da Etapa 1;

Com notação *fuzzy*, é estabelecido o conjunto *fuzzy* \widetilde{ST} de pares ordenados:

$$\widetilde{ST} = \{V_i, ML_i(q_i) | q_i \in Q\} \quad \text{Equação 3}$$

Onde \widetilde{ST} é a notação fuzzy da matriz de seleção técnica ST, V_i representa o grau de viabilidade técnica do cru de qualidade q_i , ML_i é a margem de refino do cru de qualidade q_i , e $ML_i(q_i) \in [0.5, 1]$ e representa o conjunto de crus de margem regular ou boa que passaram no filtro de margem de refino da Etapa 1. \widetilde{AP} é a notação fuzzy da matriz de aprovação AP, e $\mu_{\widetilde{AP}}(f_i) \in [0, 1]$ e representa o grau de aprovação qualidade de óleo cru i, descrito na Tabela 5 pelos seguintes níveis linguísticos e valores fuzzy a partir da opinião de especialistas:

Tabela 5: Nível linguístico e conjunto fuzzy relativos ao grau de aprovação técnica da qualidade de óleo cru
Fonte: Do Autor

Nível Linguístico	Descrição	Conjunto Fuzzy \widetilde{AP}
Aprovado	Aprovado para processamento pela refinaria sem restrições significativas	1,0
Aprovado com restrições	Aprovado para processamento pela refinaria com restrições significativas	0,5
Não aprovado	Não aprovado para processamento	0,0

\widetilde{S} é a notação fuzzy da matriz S, e $\mu_{\widetilde{S}}(f_i) \in [0, 1]$ e representa o grau de adequação à situação da refinaria da qualidade de óleo cru i, descrito na Tabela 6, para este exemplo, pelos seguintes níveis linguísticos e valores fuzzy a partir da opinião de especialistas:

Tabela 6: Nível linguístico e conjunto fuzzy relativos ao grau de adequação à situação da refinaria.;

Fonte: Do Autor

Nível Linguístico	Descrição	Conjunto Fuzzy \tilde{S}
Bem adequado	Se adequa bem à situação atual da refinaria	1,0
Não adequado	Não se adequa à situação atual da refinaria	0,0
Parcialmente adequado	Se adequa com restrições à situação atual da refinaria	0,5

\tilde{V} é a notação fuzzy da matriz V, e $\mu_{\tilde{S}}(f_i) \in [0, 2]$ e representa o grau de viabilidade técnica da qualidade de óleo cru i, descrito na Tabela 7, para este exemplo, pelos seguintes níveis linguísticos e valores fuzzy a partir da opinião de especialistas:

Tabela 7: Nível linguístico e conjunto fuzzy relativos ao grau de viabilidade técnica de cada óleo cru avaliado, onde

$$V_i = \mu_{AP}(q_i) + \mu_S(q_i) \quad \text{Equação 4}$$

Tabela 7: Nível linguístico e conjunto fuzzy relativos aos grau de viabilidade técnica; Fonte: do autor

Nível Linguístico	Conjunto Fuzzy V
Baixa	<1,25
Alta	$\geq 1,25$

São então plotadas a viabilidade Vi e margem de lucro MLi de cada qualidade de óleo avaliada e o gráfico é dividido em quatro quadrantes, como mostra a Figura 15.

O quadrante I representa o conjunto das qualidades de óleo cru com prioridade de compra em face da boa margem e alta viabilidade técnica e passam para a 3ª. etapa de seleção. O quadrante II representa o conjunto dos óleos crus com boa margem e baixa viabilidade técnica, que podem futuramente ser considerados após mais testes e possíveis adaptações nas instalações. O conjunto de óleos plotados no quadrante III são descartados pela baixa viabilidade técnica e margem de refino apenas regular. Finalmente, o quadrante IV contém o conjunto de óleos com alta viabilidade técnica e margem regular, e que podem ser considerados na falta de opções com maior margem.

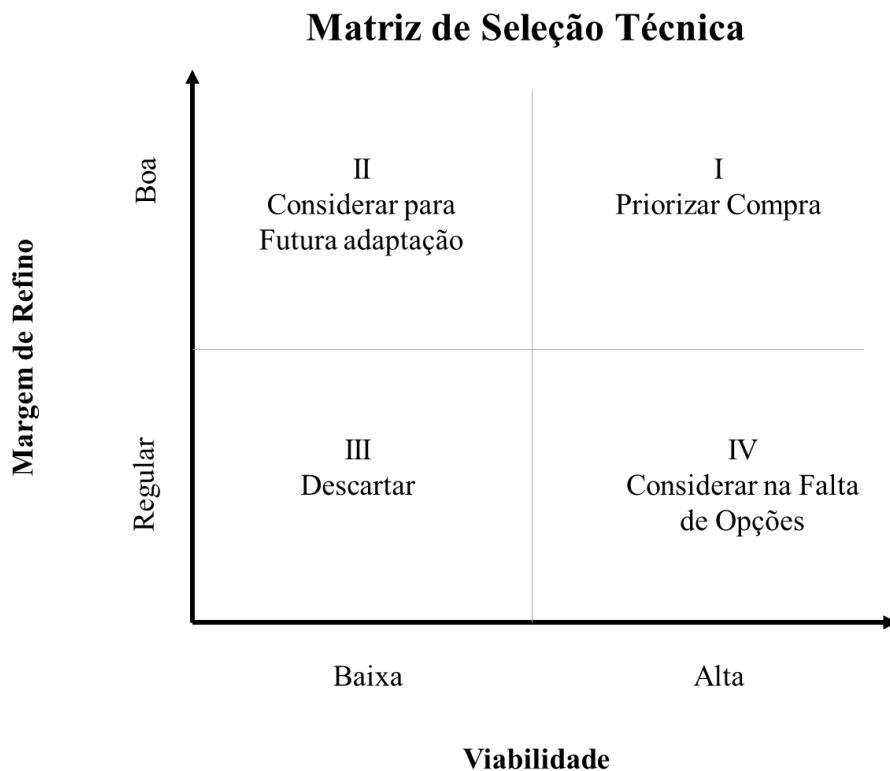


Figura 15: Matriz de seleção técnica de óleos crus; Fonte: Do Autor

4.2.3 ETAPA 3: ESTABELECIMENTO DA HIERARQUIZAÇÃO FUZZY COPPE-COSENZA DE DEMANDA E OFERTA

Vencida a Etapa 2, o método extrai um conjunto de óleos crus com boa margem e viabilidade técnica. Supondo-se que o conjunto descrito no quadrante I possua opções suficientes para decisão de compra, passa-se à Etapa 3 em que é aplicado o Modelo de Hierarquização COPPE-COSENZA (COSENZA, DORIA e PESSOA, 2015). Cada qualidade óleo cru avaliada nas Etapas 1 e 2, é na Etapa 3 descrita como ofertas de empresas supridoras em diferentes formatos logísticos.

A Etapa 3 de ranqueamento fuzzy avalia o nível de atendimento de alternativas de supridor e a origem do óleo cru, relacionado a um conjunto de fatores objetivos e subjetivos. Estes fatores são considerados para a tomada de decisão de forma a satisfazer a demanda e o óleo cru adequado para a refinaria em um determinado período. Nessa perspectiva, a metodologia consiste em realizar um confronto entre demanda da refinaria e oferta de suprimento relacionada a fatores concernentes à margem, logística e riscos desta atividade, entre outros fatores.

Para o cotejo entre demanda e oferta, são definidos:

- a. $D = (d_{hi})_{lxn}$: matriz que representa a demanda industrial de l modais logísticos, por n fatores;
- b. $O = (o_{ij})_{nxm}$: matriz que representa a oferta de n fatores por m opções de suprimento;
- c. $F = \{f_i \mid i = 1, \dots, n\}$: conjunto finito de fatores gerais de localização denotados genericamente por f_i .

Com abordagem *fuzzy*, é estabelecido o conjunto *fuzzy* \tilde{D} de pares ordenados:

$$\tilde{D} = \{f_i, \mu_{\tilde{D}}(f_i) \mid f_i \in F\} \quad \text{Equação 5}$$

Onde \tilde{D} é a notação *fuzzy* da matriz de demanda D, e $\mu_{\tilde{D}}(f_i) \in [0, 1]$ e representa o grau de importância do fator i , descrito neste exemplo pelos seguintes níveis linguísticos a partir da opinião de especialistas:

- Crítico: a existência do fator em níveis elevados é indispensável para a atratividade da oferta;
- Condicionante: a existência do fator em níveis significativos é desejável para a atratividade da oferta;
- Pouco condicionante: a existência do fator não é determinante para a atratividade da oferta, mas pode indicar condições favoráveis de conveniência ou competitividade;
- Irrelevante: o fator não impacta significativamente a atratividade da oferta.

A Tabela 8 é um esquema geral da matriz *fuzzy* \tilde{D} de demanda.

Tabela 8: Matriz *fuzzy* de demanda por fatores. (SILVA, 2015)

	f₁	f₂	...	f_n
L₁	d ₁₁	d ₁₂		d _{1n}
L₂	d ₂₁	d ₂₂		d _{2n}
...
L_l	d ₁₁	d ₁₂		d _{1n}

L_1, L_2, \dots, L_l : conjunto de opções logísticas de suprimento

f_1, f_2, \dots, n : conjunto de fatores

d: importância do fator i para a opção logística

O conjunto fuzzy \tilde{D} é representado por um número fuzzy constituído pelos graus de importância dos fatores. Quanto maior é a importância de certo fator, maior é a sua pertinência ao conjunto, como mostra a Tabela 9.

Tabela 9: Correspondência entre variáveis linguísticas e graus de pertinência na matriz de demanda;

Fonte: Do Autor

Variável Linguística	Graus de Pertinência
Irrelevante	0,2
Pouco condicionante	0,5
Condicionante	0,8
Crítico	1,0

Analogamente ao caso da matriz D, tem-se:

$$\tilde{O} = \{f_i, \mu_{\tilde{O}}(f_i) \mid f_i \in F\} \quad \text{Equação 6}$$

Onde \tilde{O} é a notação fuzzy da matriz de oferta, $\mu_{\tilde{O}}(f_i) \in [0, 1]$ e representa o grau de disponibilidade (ou oferta) dos fatores nas alternativas de suprimento estudadas. Este conjunto também pode ser representado por um número fuzzy triangular cujo suporte contém quatro níveis linguísticos: fraco, regular, bom e excelente.

A Tabela 10 a seguir é um esquema geral da matriz fuzzy \tilde{O} de oferta.

Tabela 10: Matriz fuzzy de oferta territorial de fatores. Elaborado pelo autor em referência a Silva (2015)

	S ₁	S ₂	...	S _n
F ₁	O ₁₁	O ₁₂		O _{1n}
F ₂	O ₂₁	O ₂₂		O _{2n}
...
F _f	O ₁₁	O ₁₂		O _{1n}

S₁, S₂, ..., S_m: conjunto de alternativas de suprimento

f₁, f₂, ..., f_n: conjunto de fatores

o_{ij}: nível de oferta do fator i pela alternativa j

A correspondência do número fuzzy pode ser visualizada na Tabela 11.

Tabela 11: Correspondência de variáveis linguística e graus de pertinência na matriz de oferta;

Fonte: Do Autor

Variável Linguística	Graus de Pertinência
Fraco	0,2
Regular	0,5
Bom	0,8
Excelente	1,0

Com as duas matrizes prontas, pode-se realizar o confronto entre a demanda e a oferta para cada fator. Essa operação é denotada por $d_{hi} \otimes o_{ij} = c_{hj}$, onde c_{hj} representa o grau de atendimento da alternativa de suprimento j à logística h, em relação ao fator i. Nesse sentido, para cada f_i gera-se uma matriz $C = (c_{hj})_{lxm}$. Para tal operação, pode-se empregar a Tabela 12, que mostra a matriz de relações de pertinência (matriz de cotejo).

Tabela 12: Matriz de relações de pertinência para o cotejo entre demanda e oferta. (SILVA, 2015)

Demanda por fatores	Oferta de fatores				
	$d_{hi} \otimes o_{ij} = c_{hj}$	...	$\mu_{\tilde{D}}(f_i)$	...	1
	...	1	c_{hj}	c_{hj}	c_{hj}
	$\mu_{\tilde{D}}(f_i)$	c_{hj}	1	c_{hj}	c_{hj}
	...	c_{hj}	c_{hj}	1	c_{hj}
	1	c_{hj}	c_{hj}	c_{hj}	1

$$\text{Onde: } c_{hj} = 1 + [\mu_{\tilde{D}}(f_i) - \mu_{\tilde{D}}(f_i)]$$

$$2. \mu_{\tilde{D}}(f_i) = \mu_{\tilde{D}}(f_i)$$

Nesse caso, $c_{hj} = 1$ e a alternativa de suprimento j atende ao projeto h no nível requerido.

Sendo assim, o grau de atendimento é **suficiente**.

$$2. \mu_{\tilde{D}}(f_i) < \mu_{\tilde{D}}(f_i)$$

Nesse caso, $c_{hj} < 1$ e a alternativa de suprimento j não atende ao projeto h no nível requerido. Sendo assim, o grau de atendimento é **insuficiente**.

$$3. \mu_{\tilde{D}}(f_i) > \mu_{\tilde{D}}(f_i)$$

Nesse caso, $c_{hj} > 1$ e a alternativa de suprimento j atende ao projeto h, em um nível acima do requerido. Sendo assim, o grau de atendimento é **superior**.

Na matriz C (resultado do cotejo), o valor máximo de c_{hj} em determinada coluna indica o melhor tipo de projeto para a alternativa locacional correspondente a essa coluna. Por outro lado, o valor máximo de c_{hj} em determinada linha indica a melhor localização para o tipo de projeto correspondente a essa linha.

Por fim, é possível realizar uma operação para agregar a demanda por todos os fatores e a oferta de todos os fatores e obter, assim, índices de opções de suprimento que refletem o resultado da análise. Os índices são os elementos δ_{hj} da matriz Δ_{pxm} calculados da seguinte forma:

$$\delta_{hj} = \frac{[\text{somatório de todos os } \mu_{\bar{D}}(f_i) \text{ referentes a opção de suprimento } j]}{[\text{somatório de todos os } \mu_{\bar{D}}(f_i) \text{ referentes a opção logística } h]}$$

Equação 7

Para os somatórios foram definidas as regras:

1. O somatório de todos os graus de pertinência referentes aos fatores irrelevantes deve ser menor ou igual ao grau de pertinência referente a um fator pouco condicionante.
2. O somatório de todos os graus de pertinência referentes aos fatores pouco condicionantes deve ser menor ou igual ao grau de pertinência referente a um fator condicionante.

4.3 – VALIDAÇÃO DA PROPOSTA METODOLÓGICA

A operacionalização destas regras permite que fatores existam em grandes quantidades e, concomitantemente, que apenas os fatores de maior impacto para os projetos direcionem os resultados. Sendo assim, garante-se que as atividades serão prioritariamente avaliadas em função de suas demandas críticas e condicionantes.

Semelhantemente a c_{hj} , δ_{hj} pode ser superior, igual ou inferior a 1. Valores superiores a 1 indicam ofertas muito competitivas. Valores entre 0,9 e 1 indicam ofertas atrativas, enquanto valores abaixo de 0,9 indicam ofertas pouco atrativas, e que seriam consideradas somente se restrições adicionais se apresentarem.

Finalmente, a oferta selecionada para suprimento é aquela que pertence ao conjunto de opções muito competitivas e que oferece a maior margem de lucro. Note que pelo uso desta metodologia, a opção selecionada não necessariamente será aquela com maior margem de lucro. Por exemplo, uma opção com excelente margem de lucro (que é crítica) e fraca oferta em outros fatores críticos e condicionantes, tenderá a não pertencer ao conjunto de ofertas muito competitivas e, portanto, não terá boa chance de ser a opção selecionada.

CAPÍTULO 5 - APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a aplicação da metodologia utilizando o modelo Hierárquico COPPE-COSENZA de Seleção em Três Etapas com a relação das matrizes de oferta e demanda e os seus resultados para a escolha dos óleos crus para 3 refinarias localizadas na Europa, sendo uma no sul da França, Refinaria de Lavera e duas localizadas no Mar do Norte, Refinaria de Pernis, na Holanda e Refinaria Grangemouth, na Escócia. No exercício, cada oferta está relacionada a uma qualidade de óleo cru diferente e que produz uma proporção diferente de produtos. Como a avaliação dos fatores é de alta sensibilidade comercial, todos os valores usados são hipotéticos.

A presente aplicação na tomada de decisão da opção de compra de óleos crus, busca sistematizar a ponderação de fatores decisórios de natureza abrangente, tornando-a mais efetiva, reduzindo riscos, aumentando a segurança de suprimento e o lucro nos médio e longo prazos.

5.1 - REFINARIA PETROINEOS EM LAVERA, NA FRANÇA

A Refinaria Petroineos em Lavera está situada na costa do Mediterrâneo, perto de Marselha. Lavera é a maior planta industrial de petróleo do sul da Europa, com capacidade para processar 210.000 barris por dia. Neste caso hipotético, próximo ao real, assume-se que Lavera precisa fazer um pedido de 350.000 toneladas de petróleo bruto, entregues no porto em um determinado momento. As equipes de suprimentos e negociação veem diferentes opções no mercado, que podem atender às necessidades do negócio.

O petróleo pode ser entregue em quatro diferentes opções de logística. Para os casos em que não são aplicáveis valores para determinado suprimento é reconhecida a hipótese de que para aquela localidade o suprimento pode vir a ocorrer incidindo valores. Para isso utilizaremos o conceito de conjunto vazio \emptyset , entenda-se a não presença, mas que podem vir a ocorrer em um momento posterior, o que difere do zero que é um elemento.

Etapa 1: Filtro de Margem de Refino

Na Etapa 1, as qualidades são avaliadas de acordo com a margem esperada para cada uma. Uma avaliação linguística é dada para cada faixa de margem de refino esperada conforme a Tabela 13.

Tabela 13: Avaliação linguística da margem de lucro de refino; Fonte: Do Autor

Avaliação Linguística	Lucro calculado em \$/barril	
	Maior ou igual a	Menor que
Bom	4,50	
Regular	3,50	4,50
Fraco		3,50

Neste exemplo são avaliados aproximadamente 70 óleos crus, conforme a Tabela 14, que mostra países de origem, supridores e margem de lucro estimada:

Tabela 14: Lista de diferentes qualidades de crus, seus países de origem e correspondentes supridores;
Fonte: Do Autor

Qualidade do Óleo Cru	País de Origem	Margem de refino	Variável Linguística
Agbami	Nigeria	2,00	Fraco
AKPO Blend	Nigeria	2,10	Fraco
Alvheim Blend	Noruega	2,07	Fraco
Anasuria	Reino Unido	5,50	Bom
Arab Extra Light	Arábia Saudita	3,20	Fraco
Arab Super-Light	Arábia Saudita	4,16	Regular
Arabian Heavy	Arábia Saudita	3,40	Fraco
Arabian Light	Arábia Saudita	3,70	Regular
Arabian Medium	Arábia Saudita	5,15	Bom
Arne South	Dinamarca	4,65	Bom
Asgard	Noruega	4,10	Regular
Beryl	Reino Unido	3,60	Regular
Bonga	Nigeria	5,25	Bom
Bonnie light	Nigeria	4,65	Bom
Brass light	Nigeria	4,60	Bom
Brent	Reino Unido	4,70	Bom
Cabinda	Angola	1,00	Fraco
Catcher	Reino Unido	1,25	Fraco
Culzean Assay	Reino Unido	5,40	Bom
Dansk Blend	Dinamarca	5,05	Bom
Draugen	Noruega	5,00	Bom
EA Field	Nigeria	3,80	Regular
Ekofisk	Noruega	1,16	Fraco
Erha	Nigeria	2,88	Fraco
Es Sider	Libia	3,90	Regular
Escravos	Nigeria	2,21	Fraco
Escravos Condensate	Nigeria	1,83	Fraco
Espoir	Costa do Marfim	1,98	Fraco
Flotta	Reino Unido	2,70	Fraco
Forcados	Nigeria	2,45	Fraco
Forties HS	Reino Unido	2,18	Fraco
Gina Krog	Noruega	1,93	Fraco
Girassol	Angola	2,75	Fraco
Goliat	Noruega	2,45	Fraco
Grane Blend	Noruega	2,43	Fraco
Gudrun Blend	Noruega	2,48	Fraco
Gullfaks Blend	Noruega	0,63	Fraco
Hibernia	Canada	0,75	Fraco

Qualidade do Óleo Cru	Pais de Origem	Margem de refino	Variável Linguística
Johan Sverdrup	Noruega	2,83	Fraco
Kissanje Blend	Angola	2,65	Fraco
Lula	Brasil	4,60	Bom
Mellitah Blend	Libia	1,08	Fraco
Mellitah Condensate	Libia	1,13	Fraco
Njord Blend	Noruega	1,11	Fraco
Norne	Noruega	2,83	Fraco
Okoro	Nigeria	1,68	Fraco
Okwuibome	Nigeria	2,16	Fraco
Ormen Lange Condensate	Noruega	1,78	Fraco
Oseberg	Noruega	1,93	Fraco
Palanca	Angola	2,65	Fraco
Pennington	Nigeria	2,40	Fraco
Pierce	Reino Unido	2,13	Fraco
Qua Iboe	Nigeria	1,88	Fraco
Rio Negro-Medanitos	Argentina	2,70	Fraco
Saharan	Algeria	2,40	Fraco
Schiehallion	Reino Unido	2,38	Fraco
Siri	Dinamarca	2,43	Fraco
Skarv	Noruega	0,58	Fraco
Snohvit	Noruega	0,70	Fraco
Statfjord	Noruega	2,78	Fraco
TEN Blend	Ghana	2,60	Fraco
Terra Nova	Newfoundland	2,58	Fraco
Unity Gold	Guyana	1,98	Fraco
Urals	Russia	5,50	Bom
White Rose	Canada	0,65	Fraco
WT Light	Estados Unidos	5,10	Bom
WTI Magellan East Houston	Estados Unidos	2,03	Fraco
Yme	Noruega	1,18	Fraco
Yoho	Nigeria	0,99	Fraco
Zarzaitine	Algeria	1,06	Fraco

Da lista inicial, apenas os óleos com margem de lucro regular e boa são considerados para a etapa 2 da seleção seguinte.

Etapa 2: Matriz de Seleção Técnica

Na Etapa 2, plotam-se os eixos xy, onde a abscissa é a viabilidade e a ordenada é a margem de refino dos crus de margem boa e regular, que passaram pelo filtro da Etapa 1.

A Tabela 15 mostra avaliação de viabilidade técnica em relação ao estado de aprovação e adequação do óleo cru à situação da refinaria no momento considerado.

Tabela 15: Avaliação linguística de viabilidade técnica em relação ao estado de aprovação e adequação do óleo cru à situação da refinaria; Fonte: Do Autor

Qualidade do Óleo Cru	Aprovação do Óleo Cru	Adequação a Situação da Refinaria
Anasuria	Aprovado	Bem adequado
Arab Super-Light	Aprovado com restrições	Não adequado
Arabian Light	Aprovado	Não adequado
Arabian Medium	Aprovado	Bem adequado
Arne South	Aprovado com restrições	Parcialmente adequado
Asgard	Aprovado	Bem adequado
Beryl	Aprovado	Bem adequado
Bonga	Aprovado com restrições	Não adequado
Bonnie light	Não aprovado	Bem adequado
Brass light	Aprovado	Bem adequado
Brent	Aprovado com restrições	Não adequado
Culzean Assay	Aprovado	Parcialmente adequado
Dansk Blend	Aprovado com restrições	Bem adequado
Draugen	Aprovado	Bem adequado
EA Field	Não aprovado	Parcialmente adequado
Es Sider	Aprovado	Não adequado
Lula	Aprovado	Parcialmente adequado
Urals	Aprovado com restrições	Bem adequado
WT Light	Aprovado	Parcialmente adequado

A 16 mostra os respectivos graus de pertinência *fuzzy*.

Tabela 16: Graus de pertinência *fuzzy* para os fatores de viabilidade técnica; Fonte: Do Autor

Qualidade do Óleo Cru	Aprovação do Óleo Cru	Adequação a Situação da Refinaria
Anasuria	1,0	1,0
Arab Super-Light	0,5	0,0
Arabian Light	1,0	0,0
Arabian Medium	1,0	1,0
Arne South	0,5	0,5
Asgard	1,0	1,0
Beryl	1,0	1,0
Bonga	0,5	0,0
Bonnie light	0,0	1,0
Brass light	1,0	1,0
Brent	0,5	0,0
Culzean Assay	1,0	0,5
Dansk Blend	0,5	1,0
Draugen	1,0	1,0
EA Field	0,0	0,5
Es Sider	1,0	0,0
Lula	1,0	0,5
Urals	0,5	1,0
WT Light	1,0	0,5

A Tabela 17 mostra os pares ordenados referentes à margem de refino e viabilidade técnica que vão dar origem aos quadrantes formadores da Matriz de Seleção Técnica, mostrada na Figura 16.

Tabela 17: Pares ordenados referentes à margem de refino e viabilidade técnica de cada qualidade de óleo cru; Fonte: Do Autor

Qualidade do Óleo Cru	Margem de Refino	Viabilidade
Anasuria	5,5	2,0
Arab Super-Light	4,2	0,5
Arabian Light	3,7	1,0
Arabian Medium	5,2	2,0
Arne South	4,7	1,0
Asgard	4,1	2,0
Beryl	3,6	2,0
Bonga	5,3	0,5
Bonnie light	4,7	1,0
Brass light	4,6	2,0
Brent	4,7	0,5
Culzean Assay	5,4	1,5
Dansk Blend	5,1	1,5
Draugen	5,0	2,0
EA Field	3,8	0,5
Es Sider	3,9	1,0
Lula	4,6	1,5
Urals	5,5	1,5
WT Light	5,1	1,5

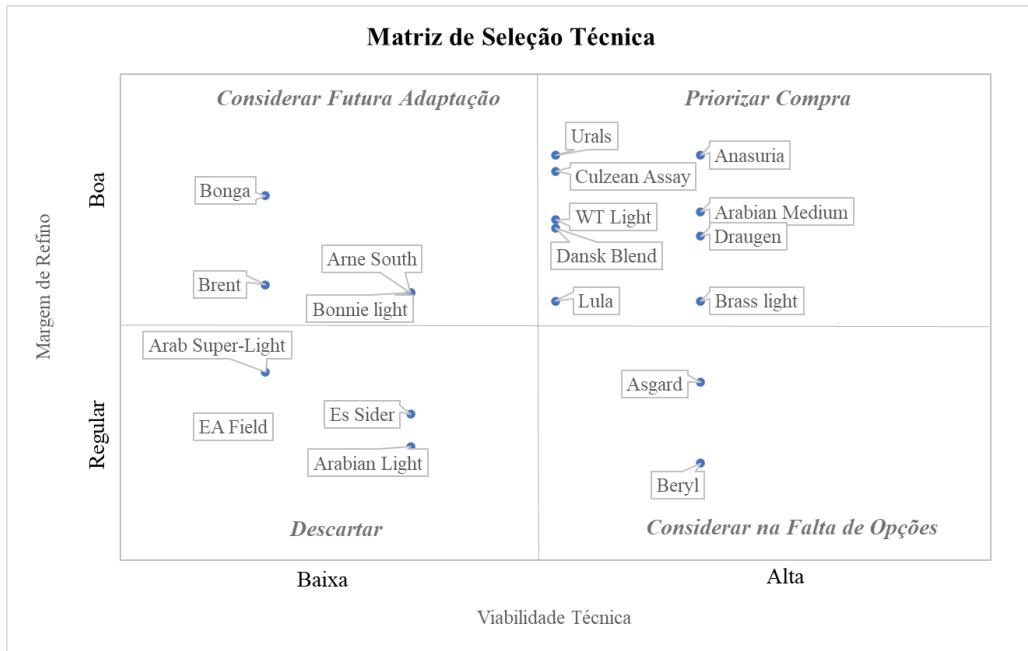


Figura 16: Matriz de seleção técnica para Lavera, considerada a margem de refino e a viabilidade técnica.; Fonte: Do Autor

Etapa 3: Análise Fuzzy de Demanda e Oferta

A Tabela 18 lista os supridores e país de origem para cada qualidade de óleo cru que foram classificados no Quadrante I: Prioridade de Compra e são, portanto, avaliados nesta Etapa 3.

Tabela 18: Supridores e país de origem de cada qualidade de óleo cru avaliado; Fonte: Do Autor

Supridor	Qualidade do Óleo Cru	Pais de Origem
Shell - Mar do Norte	Anasuria	Reino Unido
Esso	Arab Super-Light	Arábia Saudita
Saudi Aramco	Arabian Light	Arábia Saudita
Saudi Aramco	Arabian Medium	Arábia Saudita
Saudi Aramco	Arne South	Dinamarca
Equinor	Asgard	Noruega
Shell - Mar do Norte	Beryl	Reino Unido
Vitol	Bonga	Nigeria
Total	Bonnie light	Nigeria
Vitol	Brass light	Nigeria
Shell	Brent	Reino Unido
Total	Culzean Assay	Reino Unido
Equinor	Dansk Blend	Dinamarca
Glencore	Draugen	Noruega
Vitol	EA Field	Nigeria
Total	Es Sider	Líbia
Petrobras	Lula	Brasil
Gasprom	Urals	Rússia
BP - Golfo do Mexico	WT Light	Estados Unidos

O petróleo pode ser entregue de quatro diferentes opções logísticas. Na 1^a opção, aqui chamada de 3 navios FOB, o volume total é entregue no porto de origem em 3 cargas de 150 mil ton. em datas espaçadas. Na 2^a opção, aqui chamada de 3 navios DAT, o volume total é entregue no porto de destino em 3 cargas de 150 mil ton. também em datas espaçadas. Na 3^a opção, aqui chamada de 1 navio FOB, o volume total é entregue no porto de origem em 1 cargas de 450 mil ton. Na 4^a opção o volume total é entregue por bombeamento de tanques adjacentes em 4 operações em datas espaçadas. Entende-se como uma entrega FOB (Free on Board) aquela em que o comprador recebe o produto e assume todos os custos e riscos no ponto e no instante em que o produto sai da tubulação do terminal de origem e entra no navio. Entende-se como uma entrega DAT (Delivered at Terminal) aquela em que o comprador recebe o produto e assume todos os custos e riscos no ponto e no instante em que o produto sai do navio e entra na tubulação do terminal de recebimento. Entende-se como uma entrega em tanque aquela em que o supridor bombeia produto de um terminal adjacente diretamente para o tanque do comprador, que assume todos os custos e riscos assim que o produto entra em seu tanque.

Neste exercício, apenas a empresa Total S.A. possui condições de bombar diretamente para o tanque da empresa compradora.

Para as alternativas de oferta, foram considerados diferentes supridores com suas respectivas locações de origem do produto, como mostra a Tabela 19

Tabela 19: Lavera - Definição dos supridores e suas locações de carregamento para as matrizes de oferta;
Fonte: Do Autor

Supridor	Locação do terminal de carregamento do produto	Nome da Oferta
Saudi Aramco	Arabia Saudita	Saudi Aramco - Arábia Saudita
Petrobras	Brasil	Petrobras - Brasil
Gazprom	Rússia	Gazprom - Rússia
Esso	Iraque	Esso - Iraq
BP	Golfo do Mexico	BP - Golfo do Mexico
Shell	Mar do Norte	Shell - Mar do Norte
Vitol	Várias	Vitol
Glencore	Várias	Glencore
Total S.A.	Lavera	Total - Lavera

Cada supridor possui ofertas apenas para determinadas opções logísticas conforme Tabela 20.

Tabela 20: - Opções logísticas disponíveis por supridor para Lavera; Fonte: Do Autor

Alternativas de suprimento	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arábia Saudita	Sim	Sim	Sim	Não
Petrobras - Brasil	Sim	Não	Sim	Não
Gazprom - Rússia	Sim	Não	Sim	Não
Esso - Iraq	Sim	Sim	Sim	Não
BP - Golfo do Mexico	Sim	Sim	Sim	Não
Shell - Mar do Norte	Sim	Sim	Sim	Não
Vitol	Não	Sim	Não	Não
Glencore	Não	Sim	Não	Não
Total - Lavera	Não	Não	Não	Sim

5.2 REFINARIA SHELL PERNIS NA HOLANDA

Para a Refinaria Pernis na Holanda foi analisada a Etapa 3 da metodologia.

Etapa 3: Refinaria Shell em Pernis

Para comparação da metodologia nas outras localizações, o mesmo exercício foi replicado para a refinaria Shell em Pernis, utilizando ofertas que já passaram pelas Etapas 1 e 2. Esta refinaria é abastecida por petróleo principalmente por navios vindo do Mar do Norte devido à sua proximidade. Em eventos de emergência, a refinaria pode comprar petróleo da refinaria vizinha da Esso por bombeamento direto do terminal da Esso para os tanques da refinaria Shell. Esta opção, apesar de muito conveniente, tem custos adicionais de logística, tipicamente custa bem mais caro que a compra direta de navios para entrega na refinaria Shell de Pernis.

Para as alternativas de oferta, foram considerados diferentes supridores com suas respectivas locações de origem do produto, como mostra a. A principal diferença da oferta para a Refinaria de Lavera é que na refinaria de Pernis, na Holanda, a oferta da Esso vem do terminal vizinho em Pernis e a oferta da Total vem de navio do Mar do Norte.

As tabelas 21 e 22 apresentadas a seguir mostram as alternativas de oferta, considerados diferentes supridores com suas respectivas locações de origem do produto bem como as ofertas apenas para determinadas opções logísticas, conforme já demonstradas na aplicação para a refinaria de Lavera.

Tabela 21: Pernis - Definição dos supridores e suas locações de carregamento para as matrizes de oferta;
Fonte: Do Autor

Supridor	Locação do terminal de carregamento do produto	Nome da Oferta
Saudi Aramco	Arabia Saudita	Saudi Aramco - Arábia Saudita
Petrobras	Brasil	Petrobras - Brasil
Gazprom	Rússia	Gazprom - Rússia
Esso	Pernis	Esso - Pernis
BP	Golfo do Mexico	BP - Golfo do Mexico
Shell	Mar do Norte	Shell - Mar do Norte
Vitol	Várias	Vitol
Glencore	Várias	Glencore
Total S.A.	Mar do Norte	Total – Mar do Norte

Tabela 22: Pernis - Opções logísticas disponíveis por supridor; Fonte: Do Autor

Alternativas de suprimento	3 navios FOB	3navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arábia Saudita	Sim	Sim	Sim	Não
Petrobras - Brasil	Sim	Não	Sim	Não
Gazprom - Rússia	Sim	Sim	Sim	Não
Esso - Iraq	Não	Não	Não	Sim
BP - Golfo do Mexico	Sim	Sim	Não	Não
Shell - Mar do Norte	Sim	Sim	Sim	Não
Vitol	Não	Sim	Não	Não
Glencore	Não	Sim	Não	Não
Total - Lavera	Sim	Sim	Sim	Não

5.3 REFINARIA PETROINEOS EM GRANGEMOUTH, NA ESCÓCIA

Para a Refinaria Petroineos na Escócia foi analisada a Etapa 3 da metodologia.

Etapa 3: Refinaria Petroineos em Grangemouth

Para validação do método, a Etapa 3 do exercício foi também aplicada ao suprimento da refinaria Petroineos em Grangemouth na Escócia, utilizando ofertas que já passaram pelas Etapas 1 e 2. Esta refinaria tem uma ligação por oleoduto direta a uma das maiores regiões de produção de petróleo do mundo, onde inclusive é avaliado o preço-referência do petróleo Brent. Portanto, essa refinaria tipicamente é abastecida por petróleo oriundo deste oleoduto dedicado. No entanto, às vezes ofertas de outras regiões com diferentes formas de entrega são atraentes para a compra e devem ser consideradas.

Para as alternativas de oferta em Grangemouth, foram considerados supridores similares aos exemplos anteriores, com suas respectivas locações de origem do produto, como mostram as Tabelas 23 e 24. A principal diferença da oferta para a refinaria Lavera é que na refinaria de Grangemouth, apenas a Shell, Vitol, Glencore e Total possuem acesso ao petróleo e oleoduto do Mar do Norte conectado à refinaria.

Tabela 23: Grangemouth - Definição dos supridores e suas locações de carregamento para as matrizes de oferta; Fonte: Do Autor

Supridor	Locação do terminal de carregamento do produto	Nome da Oferta
Saudi Aramco	Arabia Saudita	Saudi Aramco - Arábia Saudita
Petrobras	Brasil	Petrobras - Brasil
Gazprom	Rússia	Gazprom - Rússia
Esso	Iraque	Esso - Iraque
BP	Golfo do Mexico	BP - Golfo do Mexico
Shell	Mar do Norte	Shell - Mar do Norte
Vitol	Mar do Norte	Vitol
Glencore	Mar do Norte	Glencore
Total S.A.	Mar do Norte	Total – Mar do Norte

Cada supridor possui ofertas apenas para determinadas opções logísticas conforme Tabela 24

Tabela 24: Grangemouth - Opções logísticas disponíveis por supridor; Fonte: Do Autor

Alternativas de suprimento	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arábia Saudita	Sim	Sim	Sim	Não
Petrobras - Brasil	Sim	Não	Sim	Não
Gazprom - Rússia	Sim	Não	Sim	Não
/Esso - Iraq	Sim	Sim	Sim	Não
BP - Golfo do Mexico	Sim	Sim	Sim	Não
Shell - Mar do Norte	Não	Não	Não	Sim
Vitol	Não	Não	Não	Sim
Glencore	Não	Não	Não	Sim
Total - Lavera	Não	Não	Não	Sim

5.4 MATRIZES DE DEMANDA

Para a matriz de demanda foram considerados fatores definidos na Tabela 25. A Tabela 26 define graus de pertinência *fuzzy* dos fatores de demanda.

Tabela 25: Definição dos fatores de demanda validos para todas as refinarias; Fonte: Do Autor

Margem de refino em função do preço final entregue e da qualidade do óleo (\$ /barril)	Valor total obtido pela venda de derivados produzidos, menos o custo do óleo cru, menos custos de produção.
Prazo de Pagamento	O pagamento da fatura normalmente é feito 2 dias após a entrega. No modo FOB, a entrega se dá no momento da carga no porto de origem, caracterizado pela passagem na válvula do porto. Nos modos DAT e <i>No Tanque</i> , a entrega se dá no momento da descarga no porto ou no terminal de destino, caracterizado pela passagem na válvula do cliente. A fatura no modo FOB, portanto, é entregue mais cedo, havendo a necessidade de financiamento do capital de giro durante todo o tempo de transporte. Portanto, o prazo de pagamento é mais sensível ao modo de entrega FOB.
Data de Entrega (+ ou - dias em relação a data ideal)	A refinaria determina a melhor data de entrega de cada carga, dentro de certa margem de variação. Para cargas menores e múltiplas, pode haver maior flexibilidade. Entretanto, se o recebimento for de uma carga mais volumosa, a data de entrega torna-se mais sensível, devido à necessidade de adequação mais precisa do espaço no porto e nos tanques.
Relacionamento com supridor	Um bom relacionamento com o supridor facilita as discussões e negociações com o comprador e pode assumir, na prática, maior relevância do que objetivamente merece.
ré -registro no sistema de pagamento	O registro no sistema de pagamento das empresas é um requerimento básico para a execução do negócio, incluindo a geração de contratos formais e o pagamento. Este registro tipicamente inclui itens como verificação de crédito e um formulário para se conhecer a estrutura societária da outra empresa, chamado de KYC (<i>Know Your Customer</i>). Um registro e pré-aprovação no sistema previnem potenciais atrasos para a conclusão do negócio, que pode chegar a mais de uma semana. A Shell, por exemplo, tem processos mais exigentes para entrada do supridor no sistema do que outras empresas do ramo. Portanto, este fator para a Shell é mais sensível, enquanto para a Petroineos, menos metódica em relação ao registro, o fator tende a ser menos condicionante.
Compatibilidade de padrão e tamanho de navios nos portos de carga e descarga	Cada porto possui características próprias devido à sua geografia e infraestrutura. Na consideração da geografia inclui-se, por exemplo, o calado, a tábua local das marés, condições físicas das águas, como por exemplo, a potencial presença gelo. A infraestrutura inclui capacidades máximas e mínimas do navio, seu tamanho e equipamento de bombeamento. Este conjunto de características determina se dado navio pode atracar, carregar ou descarregar o produto no porto. Algumas características, como o número de marinheiros necessários para a operação ou um volume máximo permitido, podem ser adaptadas, outras, como o tamanho do navio, são dadas.
Procedimentos de segurança no terminal de carga alinhados com comprador	As empresas possuem procedimentos de segurança para evitar incidentes em suas cargas e descargas de produto. É necessário um alinhamento destes procedimentos para que a tripulação do navio possa trabalhar com a equipe do porto de forma segura. Há empresas com diferentes procedimentos, o que pode requerer ajustes específicos para concretização de determinados negócios.

Histórico de performance de entrega (número de problemas nos últimos 3 anos)	Receber o petróleo comprado dentro de todas as condições acordadas, como data e qualidade, é decisivo para o bom funcionamento de uma refinaria. Portanto, empresas com bom histórico de performance tem vantagem na conclusão de negócios.
Risco de interrupções no porto de carga	Este fator é altamente dependente da conjuntura internacional. Como exemplo, pandemia, problemas trabalhistas, greves, conflitos armados e eventuais sanções impostas ao fornecedor podem tornar este fator mais importante.
Risco de casos de COVID no pessoal do navio	Durante o auge pandemia, o risco de contaminação por COVID era um fator muito relevante para a tomada de decisão, que poderia causar interrupções e sérios atrasos na entrega.
Alinhamento dos termos do contrato	O Contrato é um documento formal que contém seções-padrão e customizadas, que devem ter cláusulas totalmente alinhadas entre vendedor e comprador para que o negócio possa ser efetivado. Um pré-alinhamento de padrão de contrato facilita a conclusão do negócio entre as partes.
Disponibilidade de navios adequados no mercado aberto de frete	Depende tanto da liquidez típica do tipo de navio na região, quanto da disponibilidade momentânea daquele tipo de navio no local. Por exemplo, o Golfo do México tipicamente tem maior liquidez e opções de navios do que o Mar Báltico.
Disponibilidade de espaço na conexão tanque a tanque	Só é relevante para o tipo de entrega que utiliza o simples transporte da carga de um tanque localizado em terminal de origem próximo ao porto de recebimento, conectado por oleoduto às instalações do comprador.
Pré-aprovação do porto de carga	Um porto de carga pré-aprovado tipicamente já foi auditado pela empresa em relação à segurança de procedimentos instalações. A pré-aprovação evita atrasos na conclusão do negócio.

Tabela 26: Definição do grau de pertinência dos fatores de demanda válidos para todas as refinarias;

Fonte: Do Autor

Importância	Definição	Grau de Pertinência
Crítico	A existência do fator em níveis significativos é desejável para o sucesso do empreendimento.	1,0
Condicionante	A existência do fator em níveis elevados é indispensável para o êxito do projeto.	0,8
Pouco Condicionante	O fator não impacta significativamente no empreendimento.	0,5
Irrelevante	A existência do fator não é determinante para a atividade, mas pode indicar condições favoráveis de competitividade;	0,2

Refinaria Petroíneos em Lavera

A Tabela 27 mostra a matriz de demanda para as quatro opções logísticas de entrega do óleo cru para Lavera.

Tabela 27: Lavera Matriz de demanda para as quatro opções logísticas de entrega do óleo cru;

Fonte: Do Autor

Fatores	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Margem de refino em função do preço final entregue e qualidade (\$ por barril)	Crítico	Crítico	Crítico	Crítico
Prazo de Pagamento	Condicionante	Pouco condicionante	Condicionante	Pouco condicionante
Data de Entrega (+ ou - dias em relação a data ideal)	Condicionante	Condicionante	Crítico	Condicionante
Relacionamento com supridor	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante
Pré-registro no sistema de pagamento	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante
Compatibilidade de padrão e tamanho de navios nos portos de carga e descarga	Condicionante	Condicionante	Crítico	Irrelevante
Procedimentos de segurança no terminal de carga alinhados com comprador	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante
Histórico de performance de entrega (número de problemas nos últimos 3 anos)	Pouco condicionante	Condicionante	Pouco condicionante	Condicionante
Risco de interrupções no porto de carga	Condicionante	Pouco condicionante	Condicionante	Irrelevante
Risco de casos de COVID no pessoal do navio	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Irrelevante
Alinhamento de termos do contrato	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante
Disponibilidade de navios adequados no mercado aberto de frete	Condicionante	Irrelevante	Crítico	Irrelevante
Disponibilidade de espaço na conexão tanque a tanque	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Crítico
Pré-aprovação do porto de carga	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Irrelevante

Refinaria Shell em Pernis

A Tabela 28 mostra a matriz de demanda para as quatro opções logísticas de entrega do óleo cru para Pernis.

Tabela 28: Pernis Matriz de demanda para as quatro opções logísticas de entrega de óleo cru;

Fonte: Do Autor

Fatores	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Margem de refino em função do preço final entregue e qualidade (\$ por barril)	Crítico	Crítico	Crítico	Crítico
Prazo de Pagamento	Condicionante	Pouco condicionante	Condicionante	Pouco condicionante
Data de Entrega (+ ou - dias em relação a data ideal)	Condicionante	Condicionante	Crítico	Condicionante
Relacionamento com supridor	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante
Pré-registro no sistema de pagamento	Condicionante	Condicionante	Condicionante	Condicionante
Compatibilidade de padrão e tamanho de navios nos portos de carga e descarga	Condicionante	Condicionante	Crítico	Irrelevante
Procedimentos de segurança no terminal de carga alinhados com comprador	Condicionante	Condicionante	Condicionante	Condicionante
Histórico de performance de entrega (número de problemas nos últimos 3 anos)	Pouco condicionante	Condicionante	Pouco condicionante	Condicionante
Risco de interrupções no porto de carga	Condicionante	Pouco condicionante	Condicionante	Irrelevante
Risco de casos de COVID no pessoal do navio	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Irrelevante
Alinhamento de termos do contrato	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante
Disponibilidade de navios adequados no mercado aberto de frete	Condicionante	Irrelevante	Crítico	Irrelevante
Disponibilidade de espaço na conexão tanque a tanque	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Crítico
Pré-aprovação do porto de carga	Condicionante	Condicionante	Condicionante	Irrelevante

Etapa 3: Refinaria Petroineos em Grangemouth

A Tabela 29 mostra a matriz de demanda para as quatro opções logísticas de entrega do óleo cru para a refinaria Petroineos em Grangemouth

Tabela 29 Grangemouth Matriz de demanda para as quatro opções logísticas de entrega de óleo;

Fonte: Do Autor

Fator	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Margem de refino em função do preço final entregue e qualidade (\$ por barril)	Crítico	Crítico	Crítico	Crítico
Prazo de Pagamento	Condicionante	Pouco condicionante	Condicionante	Pouco condicionante
Data de Entrega (+ ou - dias em relação a data ideal)	Condicionante	Condicionante	Crítico	Condicionante
Relacionamento com supridor	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante
Pré-registro no sistema de pagamento	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante
Compatibilidade de padrão e tamanho de navios nos portos de carga e descarga	Condicionante	Condicionante	Crítico	Irrelevante
Procedimentos de segurança no terminal de carga alinhados com comprador	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante
Histórico de performance de entrega (número de problemas nos últimos 3 anos)	Pouco condicionante	Condicionante	Pouco condicionante	Condicionante
Risco de interrupções no porto de carga	Condicionante	Pouco condicionante	Condicionante	Irrelevante
Risco de casos de COVID no pessoal do navio	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Irrelevante
Alinhamento de termos do contrato	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante
Disponibilidade de navios adequados no mercado aberto de frete	Condicionante	Irrelevante	Crítico	Irrelevante
Disponibilidade de espaço na conexão tanque a tanque	Irrelevante	Irrelevante	Irrelevante	Crítico
Pré-aprovação do porto de carga	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Pouco condicionante	Irrelevante

5.5 MATRIZES DE OFERTA

A qualificação dos fatores foi definida na

Tabela 30. A gradação da qualidade dos fatores para a matriz de oferta foi definida na Tabela 31.

Tabela 30: Qualificação dos fatores e suas classificações para a matriz de oferta; Fonte: Do Autor

Fatores	Excelente	Bom	Regular	Fraco
Margem de refino em função do preço final entregue e qualidade (\$ por barril)	Maior que +\$6	Entre \$3,5 e \$5	Entre \$2 e \$3,5	Menor que \$3,5
Prazo de Pagamento	Maior que 30 dias	15 a 30 dias	3 a 15 dias	Menor que 3 dias
Data de Entrega (+ ou - dias em relação a data ideal)	1	3	4	maior que 4
Relacionamento com supridor	Excelente	Bom	Regular	Fraco
Pré-registro no sistema de pagamento	Completo e automatizado	Completo, mas não automatizado	Parcial	Não existente
Histórico de Segurança (número de eventos de segurança nos últimos 3 anos)	0	1	2	Maior que 2
Procedimentos de segurança no terminal de carga alinhados com comprador	Atende a padrões internacionais e da empresa compradora	Atende a padrões internacionais, mas parcialmente para empresa compradora	-	Não atende a padrões internacionais ou da empresa compradora
Histórico de performance de entrega (número de problemas nos últimos 3 anos)	0	1	2	Maior que 2
Risco de interrupções no porto de carga	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto
Risco de casos de COVID no pessoal do navio	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto
Alinhamento de termos do contrato	Pré-existência de contratos padrões alinhados	Forte histórico de contratos entre as partes, mas sem padrões pré-acordados	Fraco histórico de contratos entre as empresas	Histórico de problemas de termos de contrato nos últimos 3 anos

Diferença de fuso horário entre comprador e vendedor	Nenhuma	Até 3 horas	3 a 6 horas	Maior que 6 horas
Disponibilidade de transporte adequado	Boa liquidez e boa disponibilidade	Média liquidez e boa disponibilidade	Média liquidez e média disponibilidade	Fraca liquidez ou disponibilidade
Pré-aprovarão do porto de carga	Aprovado	Aprovado com pequenas restrições	Aprovado com restrições importantes	Não aprovado

Tabela 31: Definições da graduação da qualidade de oferta; Fonte: Do Autor

Oferta	Nível da Oferta
Excelente	1,0
Bom	0,8
Regular	0,5
Fraco	0,2

Refinaria Petroíneos em Lavera

A margem de refino é um dado do exercício e mostrada na Tabela 32 e não um julgamento do especialista. Os outros fatores da matriz de oferta foram determinados conforme os critérios definidos acima na Tabela 31 e julgamento do especialista utilizando o formulário do Apêndice 1. Com base nestas informações, a Tabela 33 mostra as matrizes de oferta.

Tabela 32: Lavera - Margem de Refino por Oferta (US\$ por barril); Fonte: Do Autor

Alternativas de suprimento	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arábia Saudita	10,20	10,50	10,60	Ø
Petrobras - Brasil	3,00	Ø	3,50	Ø
Gazprom - Rússia	8,50	Ø	9,00	Ø
Esso - Iraque	8,10	8,50	8,80	Ø
BP - Golfo do México	9,00	9,70	9,50	Ø
Shell - Mar do Norte	9,50	9,60	9,80	Ø
Vitol	Ø	10,20	Ø	Ø
Glencore	Ø	9,70	Ø	Ø
Total - Lavera	Ø	Ø	Ø	8,20

Tabela 33: Lavera - Matrizes de Oferta; Fonte: Do Autor

Ofertas	Margem de refino	Prazo de Pagamento	Data de Entrega
Saudi Aramco - Arábia Saudita	Excelente	Excelente	Bom
Petrobras - Brasil	Fraco	Regular	Regular
Gazprom - Rússia	Bom	Regular	Regular
Esso - Iraq	Bom	Regular	Regular
BP - Golfo do Mexico	Bom	Regular	Bom
Shell - Mar do Norte	Bom	Regular	Bom
Vitol	Excelente	Regular	Bom
Glencore	Bom	Regular	Regular
Total - Lavera	Bom	Bom	Excelente
Ofertas	Relacionamento com supridor	Pré-registro no sistema de pagamento	Compatibilidade de padrão e tamanho de navios nos portos de carga e descarga
Saudi Aramco - Arábia Saudita	Bom	Bom	Excelente
Petrobras - Brasil	Regular	Regular	Regular
Gazprom - Rússia	Fraco	Bom	Fraco
Esso - Iraq	Bom	Excelente	Fraco
BP - Golfo do Mexico	Bom	Excelente	Excelente
Shell - Mar do Norte	Bom	Bom	Bom
Vitol	Regular	Excelente	Bom
Glencore	Regular	Excelente	Bom
Total - Lavera	Excelente	Excelente	Fraco
Ofertas	Procedimentos de segurança no terminal de carga alinhados com comprador	Histórico de performance de entrega	Risco de interrupções no porto de carga
Saudi Aramco - Arábia Saudita	Bom	Regular	Regular
Petrobras - Brasil	Regular	Regular	Fraco
Gazprom - Rússia	Regular	Regular	Regular
Esso - Iraq	Excelente	Regular	Fraco
BP - Golfo do Mexico	Excelente	Bom	Excelente
Shell - Mar do Norte	Bom	Regular	Excelente
Vitol	Bom	Regular	Bom
Glencore	Bom	Regular	Bom
Total - Lavera	Excelente	Excelente	Fraco

Ofertas	Risco de casos de COVID no pessoal do navio	Alinhamento de termos do contrato	Disponibilidade de navios adequados no mercado aberto de frete
Saudi Aramco - Arábia Saudita	Bom	Regular	Bom
Petrobras - Brasil	Fraco	Regular	Regular
Gazprom - Rússia	Fraco	Fraco	Bom
Esso - Iraq	Regular	Bom	Bom
BP - Golfo do Mexico	Regular	Excelente	Regular
Shell - Mar do Norte	Bom	Bom	Bom
Vitol	Bom	Regular	Excelente
Glencore	Bom	Regular	Excelente
Total - Lavera	Bom	Bom	Fraco
Ofertas	Disponibilidade de espaço na conexão tanque a tanque	Pré-aprovação do porto de carga	
Saudi Aramco - Arábia Saudita	Fraco	Bom	
Petrobras - Brasil	Fraco	Regular	
Gazprom - Rússia	Fraco	Regular	
Esso - Iraq	Fraco	Fraco	
BP - Golfo do Mexico	Fraco	Excelente	
Shell - Mar do Norte	Fraco	Excelente	
Vitol	Fraco	Excelente	
Glencore	Fraco	Excelente	
Total - Lavera	Excelente	Excelente	

Refinaria Shell em Pernis

Como no exemplo acima, a margem de refino é um dado do exercício e mostrada na Tabela 34 e não um julgamento do especialista. Os outros fatores da matriz de oferta foram determinados conforme os critérios definidos acima e julgamento do especialista utilizando o formulário do Apêndice 1. Com base nestas informações, a Tabela 35 mostra as matrizes de oferta.

Tabela 34: Pernis - Margem de Refino por Oferta (US\$ por barril); Fonte: Do Autor

Alternativas de suprimento	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arábia Saudita	4,00	5,00	4,50	Ø
Petrobras - Brasil	3,50	Ø	3,50	Ø
Gazprom - Rússia	10,50	Ø	12,00	Ø
Esso - Pernis	Ø	Ø	Ø	5,00
BP - Golfo do Mexico	7,00	7,50	8,00	Ø
Shell - Mar do Norte	11,00	12,00	12,00	Ø
Vitol	Ø	10,20	Ø	Ø
Glencore	Ø	11,00	Ø	Ø
Total - Lavera	Ø	10,50	Ø	Ø

Tabela 35: Pernis - Matrizes de Oferta; Fonte: Do Autor

Ofertas	Margem de refino	Prazo de Pagamento	Data de Entrega
Saudi Aramco - Arábia Saudita	Regular	Regular	Fraco
Petrobras - Brasil	Fraco	Regular	Regular
Gazprom - Rússia	Excelente	Regular	Regular
Esso - Iraq	Regular	Regular	Excelente
BP - Golfo do Mexico	Regular	Regular	Regular
Shell - Mar do Norte	Excelente	Bom	Excelente
Vitol	Excelente	Bom	Bom
Glencore	Excelente	Bom	Excelente
Total - Lavera	Excelente	Bom	Bom
Ofertas	Relacionamento com supridor	Pré-registro no sistema de pagamento	Compatibilidade de padrão e tamanho de navios nos portos de carga e descarga
Saudi Aramco - Arábia Saudita	Regular	Bom	Bom
Petrobras - Brasil	Regular	Regular	Regular
Gazprom - Rússia	Fraco	Bom	Fraco
Esso - Iraq	Excelente	Excelente	Fraco
BP - Golfo do Mexico	Excelente	Excelente	Bom
Shell - Mar do Norte	Excelente	Excelente	Excelente
Vitol	Bom	Excelente	Excelente
Glencore	Bom	Excelente	Excelente
Total - Lavera	Bom	Excelente	Excelente
Ofertas	Procedimentos de segurança no terminal de carga alinhados com comprador	Histórico de performance de entrega	Risco de interrupções no porto de carga
Saudi Aramco - Arábia Saudita	Bom	Regular	Regular
Petrobras - Brasil	Regular	Regular	Fraco
Gazprom - Rússia	Regular	Regular	Fraco
Esso - Iraq	Excelente	Excelente	Excelente
BP - Golfo do Mexico	Excelente	Bom	Excelente
Shell - Mar do Norte	Excelente	Excelente	Excelente
Vitol	Bom	Bom	Bom
Glencore	Bom	Bom	Bom
Total - Lavera	Excelente	Excelente	Excelente

Ofertas	Risco de casos de COVID no pessoal do navio	Alinhamento de termos do contrato	Disponibilidade de navios adequados no mercado aberto de frete
Saudi Aramco - Arábia Saudita	Bom	Regular	Bom
Petrobras - Brasil	Fraco	Regular	Regular
Gazprom - Rússia	Fraco	Fraco	Bom
Esso - Iraq	Regular	Excelente	Excelente
BP - Golfo do Mexico	Regular	Excelente	Regular
Shell - Mar do Norte	Bom	Excelente	Excelente
Vitol	Bom	Regular	Excelente
Glencore	Bom	Regular	Excelente
Total - Lavera	Bom	Excelente	Excelente
Ofertas	Disponibilidade de espaço na conexão tanque a tanque	Pré-aprovação do porto de carga	
Saudi Aramco - Arábia Saudita	Fraco	Bom	
Petrobras - Brasil	Fraco	Regular	
Gazprom - Rússia	Fraco	Regular	
Esso - Iraq	Excelente	Fraco	
BP - Golfo do Mexico	Fraco	Excelente	
Shell - Mar do Norte	Fraco	Excelente	
Vitol	Fraco	Excelente	
Glencore	Fraco	Excelente	
Total - Lavera	Fraco	Excelente	

Refinaria Petroíneos em Grangemouth

Neste caso a margem de refino também é um dado do exercício e mostrada na Tabela 36 e não um julgamento do especialista. Os outros fatores da matriz de oferta foram determinados conforme os critérios definidos acima e julgamento do especialista utilizando o formulário do Apêndice 1. Com base nestas informações, a Tabela 37 mostra as matrizes de oferta.

Tabela 36: Grangemouth - Margem de Refino por Oferta (US\$ por barril); Fonte: Do Autor

Alternativas de suprimento	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arábia Saudita	4,20	5,30	4,70	Ø
Petrobras - Brasil	3,70	Ø	3,90	Ø
Gazprom - Rússia	8,50	Ø	9,00	Ø
Esso - Iraque	4,80	4,50	5,00	Ø
BP - Golfo do Mexico	5,50	5,80	6,50	Ø
Shell - Mar do Norte	Ø	Ø	Ø	13,00
Vitol	Ø	Ø	Ø	12,00
Glencore	Ø	Ø	Ø	11,00
Total - Lavera	Ø	Ø	Ø	11,50

Tabela 37: Grangemouth – Matrizes de Oferta; Fonte: Do Autor

Ofertas	Margem de refino	Prazo de Pagamento	Data de Entrega
Saudi Aramco - Arábia Saudita	Regular	Regular	Fraco
Petrobras - Brasil	Fraco	Regular	Fraco
Gazprom - Rússia	Bom	Regular	Fraco
Esso - Iraq	Regular	Regular	Fraco
BP - Golfo do Mexico	Regular	Regular	Fraco
Shell - Mar do Norte	Excelente	Bom	Excelente
Vitol	Excelente	Excelente	Bom
Glencore	Excelente	Excelente	Bom
Total - Lavera	Excelente	Bom	Excelente
Ofertas	Relacionamento com supridor	Pré-registro no sistema de pagamento	Compatibilidade de padrão e tamanho de navios nos portos de carga e descarga
Saudi Aramco - Arábia Saudita	Regular	Bom	Regular
Petrobras - Brasil	Regular	Regular	Regular
Gazprom - Rússia	Fraco	Bom	Fraco
Esso - Iraq	Bom	Excelente	Bom
BP - Golfo do Mexico	Bom	Bom	Bom
Shell - Mar do Norte	Excelente	Bom	Excelente
Vitol	Bom	Excelente	Bom
Glencore	Bom	Excelente	Bom
Total - Lavera	Bom	Excelente	Bom
Ofertas	Procedimentos de segurança no terminal de carga alinhados com comprador	Histórico de performance de entrega	Risco de interrupções no porto de carga
Saudi Aramco - Arábia Saudita	Bom	Regular	Regular
Petrobras - Brasil	Regular	Regular	Fraco
Gazprom - Rússia	Regular	Regular	Regular
Esso - Iraq	Excelente	Regular	Fraco
BP - Golfo do Mexico	Bom	Regular	Regular
Shell - Mar do Norte	Excelente	Excelente	Excelente
Vitol	Excelente	Excelente	Excelente
Glencore	Excelente	Excelente	Excelente
Total - Lavera	Excelente	Excelente	Excelente

Ofertas	Risco de casos de COVID no pessoal do navio	Alinhamento de termos do contrato	Disponibilidade de navios adequados no mercado aberto de frete
Saudi Aramco - Arábia Saudita	Fraco	Regular	Fraco
Petrobras - Brasil	Fraco	Regular	Fraco
Gazprom - Rússia	Fraco	Fraco	Fraco
Esso - Iraq	Regular	Bom	Bom
BP - Golfo do Mexico	Regular	Bom	Bom
Shell - Mar do Norte	Excelente	Excelente	Excelente
Vitol	Excelente	Excelente	Excelente
Glencore	Excelente	Excelente	Excelente
Total - Lavera	Excelente	Excelente	Excelente
Ofertas	Disponibilidade de espaço na conexão tanque a tanque	Pré-aprovação do porto de carga	
Saudi Aramco – Arábia Saudita	Fraco	Bom	
Petrobras – Brasil	Fraco	Fraco	
Gazprom – Rússia	Fraco	Fraco	
Esso – Iraq	Fraco	Regular	
BP – Golfo do Mexico	Fraco	Bom	
Shell – Mar do Norte	Excelente	Excelente	
Vitol	Bom	Excelente	
Glencore	Bom	Excelente	
Total – Lavera	Excelente	Excelente	

CAPÍTULO 6 - ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas sessões seguintes são exibidos os resultados das matrizes de cotejo para oferta e demanda, os resultados índices das matrizes delta bem como será apresentado ao final a aplicação da metodologia no caso analisado com as empresas selecionadas para suprimento de óleo cru nas respectivas localizações.

6.1 COTEJO ENTRE DEMANDA E OFERTA

Refinaria Petroíneos em Lavera na França

Com as duas matrizes de demanda e oferta, foi realizado o confronto para cada fator pela operação $a_{hi} \otimes o_{ij} = c_{hj}$. Assim foram geradas as matrizes de cotejo $C = (c_{hj})_{pxm}$ conforme Tabela 38 a Tabela 51.

Tabela 38: Matriz de cotejo para margem de refino em função da qualidade e do preço final;

Fonte: Do Autor

Alternativas de suprimento	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco – Arábia Saudita	1,0	1,0	1,0	Ø
Petrobras – Brasil	0,2	Ø	0,2	Ø
Gazprom – Rússia	0,8	Ø	0,8	Ø
Esso – Iraq	0,8	0,8	0,8	Ø
BP – Golfo do Mexico	0,8	0,8	0,8	Ø
Shell – Mar do Norte	0,8	0,8	0,8	Ø
Vitol	Ø	1,0	Ø	Ø
Glencore	Ø	0,8	Ø	Ø
Total – Lavera	Ø	Ø	Ø	0,8

Tabela 39: Matriz de cotejo para prazo de pagamento; Fonte: Do Autor

Alternativas de suprimento	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco – Arábia Saudita	1,2	1,5	1,2	Ø
Petrobras – Brasil	0,7	Ø	0,7	Ø
Gazprom – Rússia	0,7	Ø	0,7	Ø
Esso – Iraq	0,7	1,0	0,7	Ø
BP – Golfo do Mexico	0,7	1,0	0,7	Ø
Shell – Mar do Norte	0,7	1,0	0,7	Ø
Vitol	Ø	1,0	Ø	Ø
Glencore	Ø	1,0	Ø	Ø
Total – Lavera	Ø	Ø	Ø	1,3

Tabela 40: Matriz de cotejo para data de entrega; Fonte: Do Autor

Alternativas de suprimento	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco – Arábia Saudita	1,0	1,0	0,8	Ø
Petrobras – Brasil	0,7	Ø	0,5	Ø
Gazprom – Rússia	0,7	Ø	0,5	Ø
Esso – Iraq	0,7	0,7	0,5	Ø
BP – Golfo do Mexico	1,0	1,0	0,8	Ø
Shell – Mar do Norte	1,0	1,0	0,8	Ø
Vitol	Ø	1,0	Ø	Ø
Glencore	Ø	0,7	Ø	Ø
Total – Lavera	Ø	Ø	Ø	1,2

Tabela 41: Matriz de cotejo para relacionamento com supridor; Fonte: Do Autor

Alternativas de suprimento	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco – Arábia Saudita	1,3	1,3	1,3	Ø
Petrobras – Brasil	1,0	Ø	1,0	Ø
Gazprom – Rússia	0,7	Ø	0,7	Ø
Esso – Iraq	1,3	1,3	1,3	Ø
BP – Golfo do Mexico	1,3	1,3	1,3	Ø
Shell – Mar do Norte	1,3	1,3	1,3	Ø
Vitol	Ø	1,0	Ø	Ø
Glencore	Ø	1,0	Ø	Ø
Total – Lavera	Ø	Ø	Ø	1,5

Tabela 42: Matriz de cotejo para pré-registro no sistema de pagamento; Fonte: Do Autor

Alternativas de suprimento	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco – Arábia Saudita	1,3	1,3	1,3	Ø
Petrobras – Brasil	1,0	Ø	1,0	Ø
Gazprom – Rússia	1,3	Ø	1,3	Ø
Esso – Iraq	1,5	1,5	1,5	Ø
BP – Golfo do Mexico	1,5	1,5	1,5	Ø
Shell – Mar do Norte	1,3	1,3	1,3	Ø
Vitol	Ø	1,5	Ø	Ø
Glencore	Ø	1,5	Ø	Ø
Total – Lavera	Ø	Ø	Ø	1,5

Tabela 43: Matriz de cotejo para compatibilidade de padrão e tamanho de navios nos portos de carga e descarga; Fonte: Do Autor

Alternativas de suprimento	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco – Arábia Saudita	1,2	1,2	1,0	Ø
Petrobras – Brasil	0,7	Ø	0,5	Ø
Gazprom – Rússia	0,4	Ø	0,2	Ø
Esso – Iraque	0,4	0,4	0,2	Ø
BP – Golfo do Mexico	1,2	1,2	1,0	Ø
Shell – Mar do Norte	1,0	1,0	0,8	Ø
Vitol	Ø	1,0	Ø	Ø
Glencore	Ø	1,0	Ø	Ø
Total – Lavera	Ø	Ø	Ø	1,0

Tabela 44: Matriz de cotejo para procedimentos de segurança no terminal de carga alinhados com comprador; Fonte: Do Autor

Alternativas de suprimento	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco – Arábia Saudita	1,3	1,3	1,3	Ø
Petrobras – Brasil	1,0	Ø	1,0	Ø
Gazprom – Rússia	1,0	Ø	1,0	Ø
Esso – Iraque	1,5	1,5	1,5	Ø
BP – Golfo do Mexico	1,5	1,5	1,5	Ø
Shell – Mar do Norte	1,3	1,3	1,3	Ø
Vitol	Ø	1,3	Ø	Ø
Glencore	Ø	1,3	Ø	Ø
Total – Lavera	Ø	Ø	Ø	1,5

Tabela 45: Matriz de cotejo para histórico de performance de entrega; Fonte: Do Autor

Alternativas de suprimento	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco – Arábia Saudita	1,0	0,7	1,0	Ø
Petrobras – Brasil	1,0	Ø	1,0	Ø
Gazprom – Rússia	1,0	Ø	1,0	Ø
Esso – Iraque	1,0	0,7	1,0	Ø
BP – Golfo do Mexico	1,3	1,0	1,3	Ø
Shell – Mar do Norte	1,0	0,7	1,0	Ø
Vitol	Ø	0,7	Ø	Ø
Glencore	Ø	0,7	Ø	Ø
Total – Lavera	Ø	Ø	Ø	1,2

Tabela 46: Matriz de cotejo para risco de interrupções no porto de carga; Fonte: Do Autor

Alternativas de suprimento	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco – Arábia Saudita	0,7	1,0	0,7	Ø
Petrobras – Brasil	0,4	Ø	0,4	Ø
Gazprom – Rússia	0,7	Ø	0,7	Ø
Esso – Iraq	0,4	0,7	0,4	Ø
BP – Golfo do Mexico	1,2	1,5	1,2	Ø
Shell – Mar do Norte	1,2	1,5	1,2	Ø
Vitol	Ø	1,3	Ø	Ø
Glencore	Ø	1,3	Ø	Ø
Total – Lavera	Ø	Ø	Ø	1,0

Tabela 47: Matriz de cotejo para risco de casos de COVID no pessoal do navio; Fonte: Do Autor

Alternativas de suprimento	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco – Arábia Saudita	1,3	1,3	1,3	Ø
Petrobras – Brasil	0,7	Ø	0,7	Ø
Gazprom – Rússia	0,7	Ø	0,7	Ø
Esso – Iraq	1,0	1,0	1,0	Ø
BP – Golfo do Mexico	1,0	1,0	1,0	Ø
Shell – Mar do Norte	1,3	1,3	1,3	Ø
Vitol	Ø	1,3	Ø	Ø
Glencore	Ø	1,3	Ø	Ø
Total – Lavera	Ø	Ø	Ø	1,6

Tabela 48: Matriz de cotejo para alinhamento de termos do contrato; Fonte: Do Autor

Alternativas de suprimento	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco – Arábia Saudita	1,0	1,0	1,0	Ø
Petrobras – Brasil	1,0	Ø	1,0	Ø
Gazprom – Rússia	0,7	Ø	0,7	Ø
Esso – Iraq	1,3	1,3	1,3	Ø
BP – Golfo do Mexico	1,5	1,5	1,5	Ø
Shell – Mar do Norte	1,3	1,3	1,3	Ø
Vitol	Ø	1,0	Ø	Ø
Glencore	Ø	1,0	Ø	Ø
Total – Lavera	Ø	Ø	Ø	1,3

Tabela 49: Matriz de cotejo para disponibilidade de navios adequados no mercado aberto de frete;

Fonte: Do Autor

Alternativas de suprimento	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco – Arábia Saudita	1,0	1,6	0,8	Ø
Petrobras – Brasil	0,7	Ø	0,5	Ø
Gazprom – Rússia	1,0	Ø	0,8	Ø
Esso – Iraq	1,0	1,6	0,8	Ø
BP – Golfo do Mexico	0,7	1,3	0,5	Ø
Shell – Mar do Norte	1,0	1,6	0,8	Ø
Vitol	Ø	1,8	Ø	Ø
Glencore	Ø	1,8	Ø	Ø
Total – Lavera	Ø	Ø	Ø	1,0

Tabela 50: Matriz de cotejo para espaço na conexão tanque a tanque; Fonte: Do Autor

Alternativas de suprimento	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco – Arábia Saudita	1,0	1,0	1,0	Ø
Petrobras – Brasil	1,0	Ø	1,0	Ø
Gazprom – Rússia	1,0	Ø	1,0	Ø
Esso – Iraq	1,0	1,0	1,0	Ø
BP – Golfo do Mexico	1,0	1,0	1,0	Ø
Shell – Mar do Norte	1,0	1,0	1,0	Ø
Vitol	Ø	1,0	Ø	Ø
Glencore	Ø	1,0	Ø	Ø
Total – Lavera	Ø	Ø	Ø	1,0

Tabela 51: Matriz de cotejo para Pré-aprovação do porto de carga; Fonte: Do Autor

Alternativas de suprimento	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco – Arábia Saudita	1,3	1,3	1,3	Ø
Petrobras – Brasil	1,0	Ø	1,0	Ø
Gazprom – Rússia	1,0	Ø	1,0	Ø
Esso – Iraq	0,7	0,7	0,7	Ø
BP – Golfo do Mexico	1,5	1,5	1,5	Ø
Shell – Mar do Norte	1,5	1,5	1,5	Ø
Vitol	Ø	1,5	Ø	Ø
Glencore	Ø	1,5	Ø	Ø
Total – Lavera	Ø	Ø	Ø	1,8

Para as Refinarias Shell em Pernis na Holanda e Refinaria Petroineos em Grangemouth na Escócia os resultados das respectivas matrizes de cotejo podem ser vistas no Apêndice II.

6.2 ÍNDICES DE OPÇÕES DE SUPRIMENTO

LAVERA – Índices Delta de Opções de Suprimento

A Tabela 52 apresenta as faixas da avaliação *fuzzy* em termos de competitividade ao final das alternativas. A Tabela 53 mostra os resultados do cálculo da matriz Δ dos índices de Opções de Suprimento que refletem o resultado da análise das opções de suprimentos para a logística considerada, utilizando-se o método COPPE-COSENZA. A Figura 17 reproduz uma visualização desses resultados. A Tabela 54 mostra a avaliação linguística do ranqueamento das opções de suprimento. O departamento de planejamento, depois de ter usado o método, pode fornecer ao *trader* uma recomendação, como a Tabela 55 que envolve avaliações subjetivas e objetivas com indicações seguras de que ofertas devem ser negociadas. Dessa lista final, o óleo cru com maior margem será comprado. No caso estudado, a melhor opção parece ser o óleo cru Arabian Medium, oferecido pela Saudi Aramco em 3 navios FOB, por ser uma oferta muito competitiva e margem de refino excelente.

Tabela 52: Lavera – Classificação de competitividade da oferta de acordo com as opções de suprimento;
Fonte: Do Autor

Muito competitiva	>1
Competitiva	Entre 0,8 e 0,9
Pouco competitivo	<0,8

Tabela 53: Lavera - Matriz Δ de Índices de Opções de Suprimento; Fonte: Do Autor

Avaliacao Fuzzy da Matriz Delta de Indices Locacionais				
	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Matriz Delta de Indices Locacionais	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	1,03	0,871	0,892	Ø
Petrobras – Brasil	0,55	Ø	0,45	Ø
Gasprom - Russia	0,69	Ø	0,61	Ø
Esso - Iraq	0,62	0,45	0,53	Ø
BP - Golfo do Mexico	0,99	1,06	0,85	Ø
Shell - Mar do Norte	1,01	1,00	0,86	Ø
Vitol	Ø	0,97	Ø	Ø
Glencore	Ø	0,84	Ø	Ø
Total - Lavera	Ø	Ø	Ø	0,77

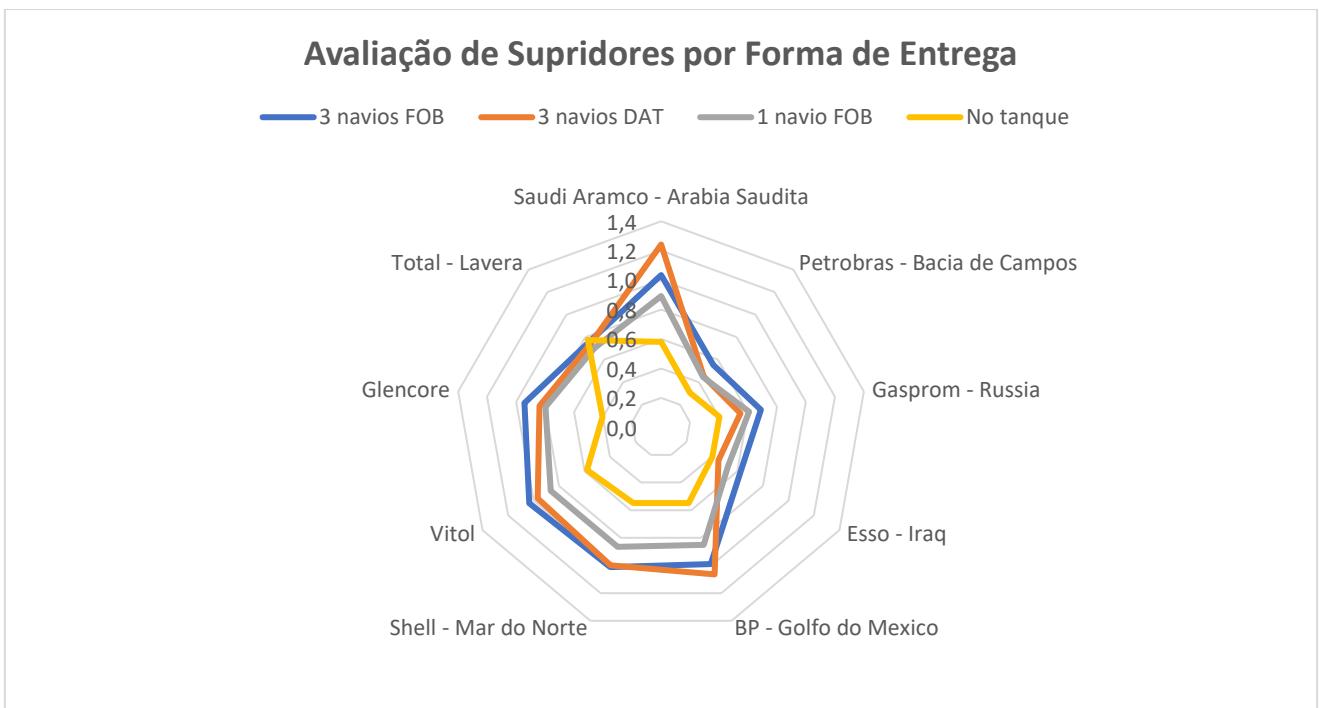


Figura 17: Lavera - Representação gráfica dos índices de opções de suprimento; Fonte: Do Autor

Tabela 54: Lavera - Resultado da avaliação linguística usando índices qualitativos das opções de suprimento

Fonte: Do Autor

Matriz Delta de Indices Locacionais	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	Muito competitivo	Muito competitivo	Competitivo	Ø
Petrobras – Brasil	Pouco Competitivo	Ø	Pouco Competitivo	Ø
Gasprom - Russia	Pouco Competitivo	Ø	Pouco Competitivo	Ø
Esso - Iraq	Pouco Competitivo	Pouco Competitivo	Pouco Competitivo	Ø
BP - Golfo do Mexico	Competitivo	Muito competitivo	Competitivo	Ø
Shell - Mar do Norte	Muito competitivo	Competitivo	Competitivo	Ø
Vitol	Muito competitivo	Competitivo	Competitivo	Ø
Glencore	Competitivo	Competitivo	Pouco Competitivo	Ø
Total - Lavera	Ø	Ø	Ø	Pouco Competitivo

Tabela 55: Ranqueamento final de suprimento para negociação pelo *trader* para Lavera; Fonte: Do Autor

Nome do Óleo Cru	Supridor	Modo Logístico	Avaliação Fuzzy	Margem
Arabian Medium	Saudi Aramco - Arabia Saudita	3 navios FOB	Muito Competitivo	Excelente
WT Light	BP - Golfo do México	3 Navios DAT	Muito Competitivo	Boa
Anasuria	Shell - Mar do Norte	3 navios FOB	Muito Competitivo	Boa

PERNIS – Índices Delta de Opções de Suprimento

A Tabela 56 mostra as faixas da avaliação fuzzy em termos de competitividade da oferta avaliada ao final das alternativas de acordo com as opções de suprimento. A Tabela 57 mostra os resultados do cálculo da matriz Δ dos índices de opções de suprimento que refletem o resultado da análise das opções de suprimentos para a logística considerada, utilizando-se o modelo hierárquico COPPE-COSENZA. A Figura 18 reproduz uma

visualização desses resultados. A Tabela 58 mostra a avaliação linguística do ranqueamento das opções de suprimento. O departamento de planejamento, depois de ter usado o método, pode fornecer ao *trader* uma recomendação, como a Tabela 59 que envolve avaliações subjetivas e objetivas com indicações seguras de que ofertas devem ser negociadas. Dessa lista final, o óleo cru com maior margem será comprado. No caso estudado, as melhores opções parecem ser os óleos crus Anasuria, oferecido pela Shell e Culsean Assay, oferecido pela Total, ambos com origem no Mar do Norte, em 3 navios FOB, por serem ofertas muito competitivas e margem de refino excelente.

Tabela 56: Pernis - Classificação de competitividade da oferta de acordo com as opções de suprimento;
Fonte: Do Autor

Muito competitiva	>1
Competitiva	Entre 0,8 e 0,9
Pouco competitivo	<0,8

Tabela 57: Pernis - Matriz Δ de Índices de opções de suprimento; Fonte: Do Autor

Matriz Delta de Indices Locacionais	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	0,66	0,43	0,44	Ø
Petrobras – Brasil	0,50	Ø	0,32	Ø
Gasprom - Russia	0,58	0,34	0,40	Ø
Esso - Pernis	Ø	Ø	Ø	0,58
BP - Golfo do Mexico	0,76	0,61	Ø	Ø
Shell - Mar do Norte	1,13	0,83	0,76	Ø
Vitol	Ø	0,74	Ø	Ø
Glencore	Ø	0,78	Ø	Ø
Total - Mar do Norte	1,08	0,78	0,75	Ø

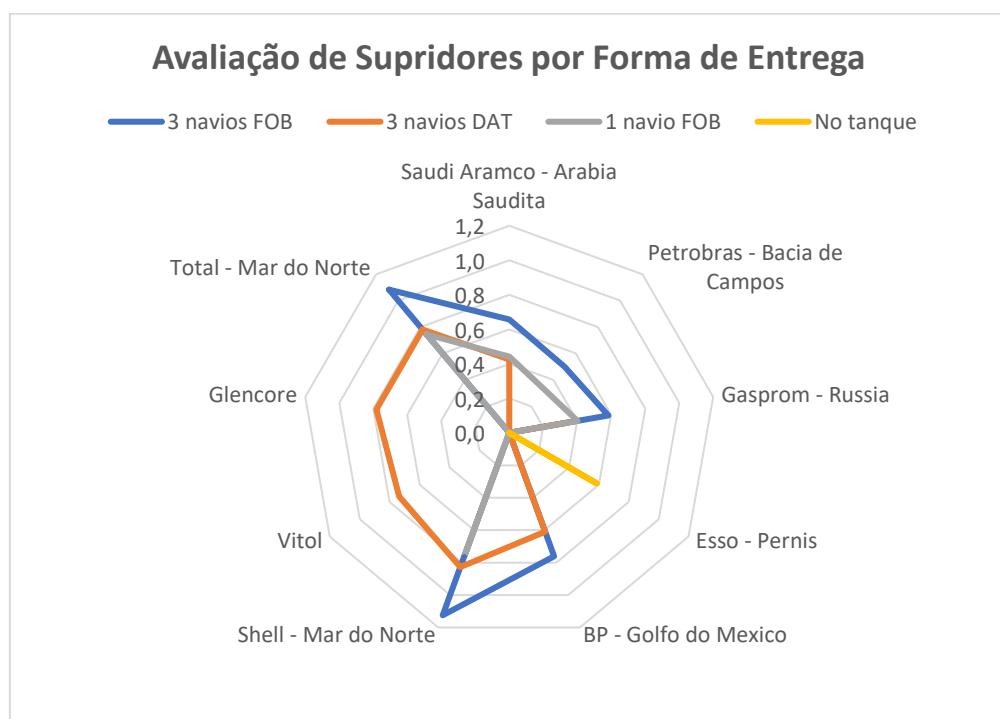


Figura 18: Pernis - Representação gráfica dos índices de opções de suprimento; Fonte: Do Autor

Tabela 58: Pernis - Resultado da avaliação usando índices qualitativos das opções de suprimento;

Fonte: Do Autor

Matriz Delta de Indices Locacionais	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco – Arábia Saudita	Pouco Competitivo	Pouco Competitivo	Pouco Competitivo	Ø
Petrobras – Brasil	Pouco Competitivo	Ø	Pouco Competitivo	Ø
Gazprom - Rússia	Pouco Competitivo	Pouco Competitivo	Pouco Competitivo	Ø
Esso - Pernis	Ø	Ø	Ø	Pouco Competitivo
BP - Golfo do Mexico	Pouco Competitivo	Pouco Competitivo	Ø	Ø
Shell - Mar do Norte	Muito competitivo	Competitivo	Pouco Competitivo	Ø
Vitol	Ø	Pouco Competitivo	Ø	Ø
Glencore	Ø	Pouco Competitivo	Ø	Ø
Total - Mar do Norte	Muito competitivo	Pouco Competitivo	Pouco Competitivo	Ø

Tabela 59: Ranqueamento final de suprimento para negociação pelo *trader* para Pernis; Fonte: Do Autor

Nome do Óleo Cru	Supridor	Modo Logístico	Avaliação Fuzzy	Margem
Anasuria	Shell - Mar do Norte	3 navios FOB	Muito Competitivo	Excelente
Culsean Assay	Total - Mar do Norte	3 navios FOB	Muito Competitivo	Excelente

GRANGEMOUTH - Índices Delta de Opções de Suprimento

A Tabela 60 mostra as faixas da avaliação fuzzy em termos de competitividade avaliada final das alternativas. A Tabela 61 mostra os resultados do cálculo da matriz Δ dos índices de Opções de Suprimento que refletem o resultado da análise das opções de suprimentos para logística considerada, utilizando-se o método COPPE-COSENZA. A Figura 19 reproduz uma visualização desses resultados. A Tabela 62 mostra a avaliação

linguística do ranqueamento das opções de suprimento. O departamento de planejamento, depois de ter usado o método, pode fornecer ao *trader* uma recomendação, como a Tabela 63 que envolve avaliações subjetivas e objetivas com indicações seguras de que ofertas devem ser negociadas. Dessa lista final, o óleo cru com maior margem será comprado. No caso estudado, as melhores opções parecem ser os óleos crus Anasuria, oferecido pela Shell e Culsean Assay, oferecido pela Total, ambos com origem no Mar do Norte, diretamente no tanque, por serem ofertas muito competitivas e margem de refino excelente. Nota-se que Grangemouth tem conexão por oleoduto a campos de produção do Mar do Norte, o que facilita e aumenta a competitividade do modal logístico com suprimento no tanque.

Tabela 60: Grangemouth - Classificação de competitividade da oferta de acordo com as opções de suprimento; Fonte: Do Autor

Muito competitiva	>1
Competitiva	Entre 0,8 e 0,9
Pouco competitivo	<0,8

Tabela 61: Grangemouth - Matriz Δ de Índices de Opções de Suprimento; Fonte: Do Autor

Matriz Delta de Índices Locacionais	3 navios	3 navios	1 navio	No tanque
	FOB	DAT	FOB	
Saudi Aramco - Arabia Saudita	0,52	0,50	0,49	Ø
	0,41	Ø	0,36	Ø
	0,48	Ø	0,49	Ø
	0,66	0,50	0,53	Ø
	0,72	0,60	0,61	Ø
	Ø	Ø	Ø	0,81
	Ø	Ø	Ø	0,68
	Ø	Ø	Ø	0,68
	Ø	Ø	Ø	0,81

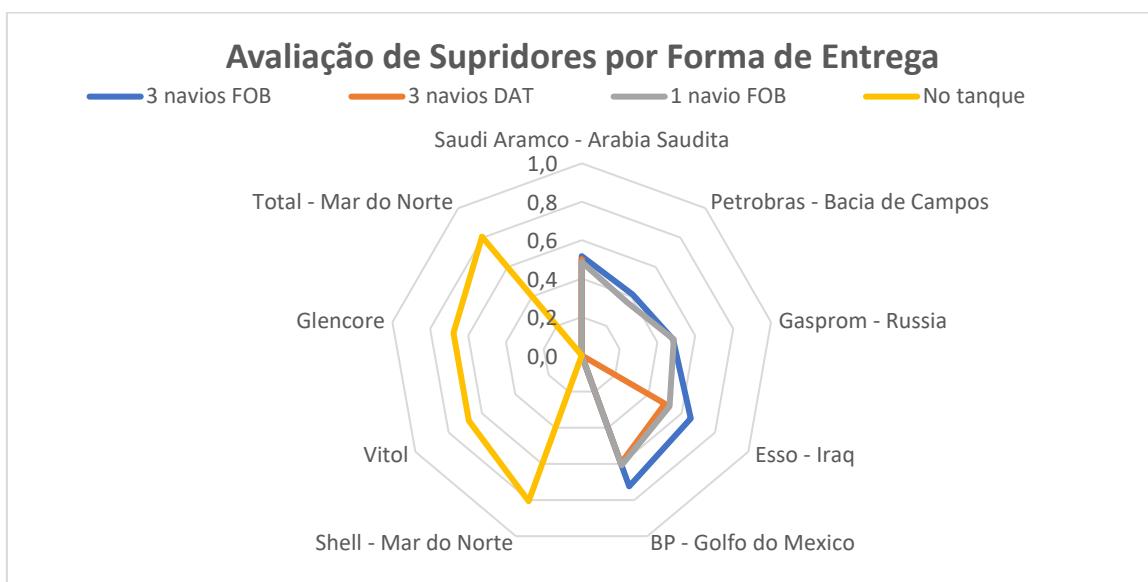


Figura 19: Grangemouth - Representação gráfica dos índices de opções de suprimento;

Fonte: Do Autor

Tabela 62: Grangemouth - Resultado da avaliação usando índices qualitativos das opções de suprimento

Fonte: Do Autor

Matriz Delta de Indices Locacionais	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arábia Saudita	Pouco Competitivo	Pouco Competitivo	Pouco Competitivo	Ø
Petrobras – Brasil	Pouco Competitivo	Ø	Pouco Competitivo	Ø
Gazprom - Rússia	Pouco Competitivo	Ø	Pouco Competitivo	Ø
Esso - Pernis	Pouco Competitivo	Pouco Competitivo	Pouco Competitivo	Ø
BP - Golfo do Mexico	Pouco Competitivo	Pouco Competitivo	Pouco Competitivo	Ø
Shell - Mar do Norte	Ø	Ø	Ø	Competitivo
Vitol	Ø	Ø	Ø	Pouco Competitivo
Glencore	Ø	Ø	Ø	Pouco Competitivo
Total - Mar do Norte	Ø	Ø	Ø	Competitivo

Tabela 63: Ranqueamento final de suprimento para negociação pelo *trader* para Grangemouth;

Fonte: Do Autor

Nome do Óleo Cru	Supridor	Modo Logístico	Avaliação Fuzzy	Margem
Anasuria	Shell - Mar do Norte	No tanque	Competitivo	Excelente
Culsean Assay	Total - Mar do Norte	No tanque	Competitivo	Excelente

6.3 – DISCUSSÃO

A metodologia aplicada mostra que a utilização do modelo hierárquico COPPE-COSENZA possibilita a obtenção de uma maior gama de resultados para o processo decisório em operações complexas capazes de financiar necessários investimentos em infraestrutura e processos que aumentam ainda mais a flexibilidade na seleção de matéria prima.

Os resultados da análise das opções de suprimento pelo Método de Seleção de Óleo Cru em Três Etapas aqui desenvolvido mostraram grande coerência com um problema prático real, na avaliação dos especialistas.

Nos exemplos estudados foram analisadas compras de óleos crus, com quatro diferentes opções de entrega, para três grandes refinarias localizadas em diferentes países da Europa: Lavera na França, Pernis na Holanda e Grangemouth na Escócia.

Na 1^a opção, aqui chamada de 3 navios FOB, o volume total é entregue no porto de origem em 3 cargas de 150 mil ton. em datas espaçadas. Na 2^a opção, aqui chamada de 3 navios DAT, o volume total é entregue no porto de destino em 3 cargas de 150 mil ton. também em datas espaçadas. Na 3^a opção, aqui chamada de 1 navio FOB, o volume total é entregue no porto de origem em 1 carga de 450 mil ton. Na 4^a opção o volume total é entregue por bombeamento de tanques adjacentes em 4 operações em datas espaçadas.

Em Lavera, a melhor opção parece ser o óleo cru Arabian Medium, oferecido pela Saudi Aramco em 3 navios FOB, por ser uma oferta muito competitiva e margem de refino excelente.

Para a refinaria de Pernis as melhores opções parecem ser os óleos crus Anasuria, oferecido pela Shell e Culsean Assay, oferecido pela Total, ambos com origem no Mar do Norte, em 3 navios FOB, por serem ofertas muito competitivas e margem de refino excelente.

Para Grangemouth, refinaria da Escócia, as melhores opções parecem ser os óleos crus Anasuria, oferecido pela Shell e Culsean Assay, oferecido pela Total, ambos com origem no Mar do Norte, diretamente no tanque, por serem ofertas muito competitivas e margem de refino excelente.

A opção de bombeamento, embora bem conveniente e segura do ponto de vista logístico, no caso de Lavera e Pernis apresenta mais altos custos locais, e, portanto, tende a só ser usada em casos de emergência, por exemplo devido ao atraso da entrega de uma carga causado por bloqueio no canal de Suez. No entanto, como Grangemouth está conectada ao oleoduto conectado diretamente aos campos do Mar do Norte, a opção em tanque é atraente no ranqueamento final.

Nos exemplos estudados, a estatal Petrobras revela baixa pontuação na análise tendo em vista que a maior parte do petróleo produzido no Brasil (aproximadamente 90%) tem destino natural nas refinarias nacionais. As refinarias brasileiras são bem adequadas às qualidades do óleo cru produzido em seus campos localizados mais próximos, sendo, portanto, cargas menos competitivas no Mar Mediterrâneo.

A baixa pontuação da Gazprom nos exemplos está ligada a uma boa margem de refino, contrastada com oferta fraca ou regular em outros fatores, como baixa adequação de contratos e padrões operacionais.

CAPÍTULO 7 - CONCLUSÃO

O estudo de caso acima apresenta um novo Método de Seleção em Três Etapas, com ranqueamento fuzzy para a seleção de óleos crus para suprimento de refinarias, utilizando o Método Hierárquico COPPE-COSENZA. O consequente refino desta aplicação da metodologia pode levar à sistematização e até semi-automação de uma atividade que envolve globalmente a tomada de decisões de mais de US\$ 10 bilhões por dia num complexo processo decisório que em muito depende da experiência e do sentimento do decisor.

Embora os valores difusos sejam o resultado do julgamento de um profissional de negociação experiente e relacionem fatores reais, bem como avaliações potenciais, eles são fictícios e têm o propósito de ilustrar a aplicação prática deste método.

Para implementação prática desta metodologia, pode ser feito o ranqueamento final misturando lógica *fuzzy* a não-*fuzzy* para a tomada de decisão. Para esse efeito, as margens de refino numéricas devem ser avaliadas explicitamente ao lado da avaliação *fuzzy*, pois na prática, uma decisão nunca será tomada puramente de forma *fuzzy*. No entanto a adição da avaliação *fuzzy* pode acelerar e melhorar a tomada de decisão para a otimização da margem de lucro das refinarias.

Para alcançar uma transição energética bem-sucedida, a sociedade precisa enfrentar o trilema da segurança energética, acessibilidade e sustentabilidade. A gestão do trilema energético é um dos maiores desafios do nosso tempo e requer mudanças radicais em inúmeros campos de estudo, incluindo a otimização da matriz energética e das matérias-primas existentes.

CAPÍTULO 8 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia aplicada mostra que a utilização do Modelo Hierárquico COPPE-COSENZA leva a resultados com alta coerência com o processo decisório mental usado por profissionais experientes de suprimento e *trading*. Isto significa uma operação mais sustentável que pode financiar necessários investimentos em infraestrutura e processos que aumentam ainda mais a flexibilidade na seleção de matéria prima.

A aplicação do processo de análise subjetiva em um processo objetivo e inteligente foi alcançado permitindo o emprego da lógica fuzzy em um caso de suprimento de óleos crus.

O método desenvolvido é uma contribuição para a melhoria do processo de ranqueamento e seleção de óleos crus por sistematizar a união da análise clássica de margem com a análise linguística e subjetiva. Nas atuais práticas de planejamento e negociação de refinarias os petróleos são tipicamente classificados de acordo puramente com a viabilidade e a margem de lucro de refino esperada.

O sucesso e a sobrevivência da refinaria depende de vários fatores, mas a tomada de decisão de compra do óleo cru é crucial na formação final da margem de lucro e por consequência na produção de petróleo. A operação otimizada de uma refinaria depende da capacidade de se adaptar às mudanças porque tem sido comum o descomissionamento de refinarias não competitivas.

Quando aplicado a situações da vida real, o modelo pode significar ferramenta valiosa. A simples transparência dos resultados da atribuição e classificação dos fatores pode levar a excelentes discussões, o que pode promover o crescimento da equipe e uma melhor gestão do negócio.

Este método tem ainda o potencial de futuramente levar a uma melhor seleção na compra de óleos crus através de sua implementação por novos métodos, através dos assistentes pessoais de inteligência artificial dos planejadores e *traders*.

REFERÊNCIAS

AGENCY, International E. Sustainable Recovery - World Energy Outlook Special Report, Paris, June 2020.

ANDRADE, Gustavo B. et al. A fuzzy analysis applied on physical commodity market. **SRRN**, 07 February 2023. 1-15.

ANDRADE, Gustavo B. et al. A novel approach for complex and subjective variable valuation in the COPPE-Cosenza fuzzy model applied to crude oil trading. **Decision Analytics Journal**, 24 Março 2023. 1-10.

AUNG, Zayar; MIKHAYLOV, Ilya S.; AUNG, Ye T. **Artificial Intelligence Methods Application in Oil Industry**. NW Russia Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering. Saint Petersburg: [s.n.]. 2020.

BANNA, Hasanul et al. Energy security and economic stability: The role of inflation and war. **Energy Economics**, 7 Outubro 2023. 1-14.

BERK, Istem; ÇAM, Eren. The shift in global crude oil market structure: A model-based analysis of the period 2013–2017. **Energy Policy**, 5 April 2020. 1-16.

BIKE, Zhang; RUICHANG, Wu. Construction of equipment evaluation index system of emergency medical rescue based on Delphi method and analytic hierarchy process. **Ain Shams Engineering Journal**, 4 June 2022. 1-6.

BOOGAART, Lucia V. D.; SLABBEKOORN, Hans; SCHERER, Laura. Prioritization of fish welfare issues in European salmonid aquaculture using the Delphi method. **Aquaculture**, 7 April 2023. 1-13.

BOUOIYOUR, Jamal et al. What are the categories of geopolitical risks that could drive oil prices higher? Acts or threats? **Energy Economics**, 22 October 2019. 1-14.

BRILLO DE CARVALHO, J.; COSENZA, Carlos A. N. Methodology for Hierarchization of Competences: A Fast Decision-Making Algorithm Applied to Organizations in Brazil. **Journal of Human Resources Management and Labor Studies**, March 2014. 1-16.

CAGGIANI, Leonardo; OTTOMANELLI, Michele; DELL'ORCO, Mauro. Handling uncertainty in Multi Regional Input-Output models by entropy maximization and fuzzy programming. **Transportation Research**, p. 159-172, 2014.

CALDARA, Dario; CAVALLO, Michele; IACOVIELLO, Matteo. Oil Price Elasticities and Oil Price Fluctuations. **International Finance Discussion Papers**, July 2016. 1-60.

CASETA, Gabriel M.; SILVA, Felipe. DINÂMICA DOS PREÇOS DO PETRÓLEO NA PANDEMIA DO CORONAVÍRUS. **Revista de Gestão, Economia e Negócios**, 2022. 1-25.

CHOWDHURY, Priyabrata; PAUL, Sanjoy K. Applications of MCDM methods in research on corporate sustainability: A systematic literature review. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, p. 385-405, 2020.

CHU, T.-C.; LIN, Y.-C. A Fuzzy TOPSIS Method for Robot Selection. **Advanced Manufacturing Technology**, 2003. 284-290.

COOPER, John C. P. OPEC Review. **Price elasticity of demand for crude oil: estimates for 23 countries**, March 2003.

COSENZA, Carlos A. N.; NASCIMENTO, Paulo R. Alguns modelos empíricos de localização industrial. **Revista de Pesquisa de Planejamento Energético - EPEA**, 1, 1975.

COSENZA, Carlos A. N.; NEVES, Cesar D.; LIMA, Fernando R. Institution of Civil Engineers - ICE. **A hierarchical model for biodiesel plant location in Brazil**, 29 June 2017. 1-13.

CÔTÉ, Elizabeth; BRAUWER, Cristian P.-S. D. Preferences of homeowners for heat-pump leasing: Evidence from a choice experiment in France, Germany, and Switzerland. **Energy Policy**, 29 Agosto 2023. 1-17.

DAS, Sudeepa; SAHU, Tirath P.; JANGHEL, Rekh R. Oil and gold price prediction using optimized fuzzy inference system based extreme learning machine. **Resources Policy**, 17 November 2022. 1-15.

DEMIRER, Riza et al. Geopolitical risks and the predictability of regional oil returns and volatility. **Geopolitical risks and crude oil**, September 2019. 1-20.

DU, Ruijin et al. Identifying the peak point of systemic risk in international crude oil importing trade. **Energy**, 21 March 2019. 1-11.

ELAZIZ, Mohamed A.; EWEES, Ahmed A.; ALAMEER, Zakaria. Improving Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Based on a Modified Salp Swarm Algorithm Using Genetic Algorithm to Forecast Crude Oil Price. **Natural Resources Research**, 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Matriz Energética e Elétrica, 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>.

FERRARI, Davide; RAVAZZOLO, Francesco; VESPIGNANI, Joaquim. Forecasting energy commodity prices: A large global dataset sparse approach. **Energy economics**, p. 1-12, 2019.

FRANCISCO, Marie. Artificial intelligence for environmental security: national, international, human and ecological perspectives. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, 18 January 2023. 1-6.

FRANKE, Felix; FRANKE, Susane; RIEDEL, Ralph. AI-based Improvement of Decision-makers knowledge in Production Planning and Control. **IFAC Papers Online**, 2022. 2240-2245.

GAO, Xiaoyong et al. A decision tree based decomposition method for oil refinery scheduling. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, 8 November 2017. 1-8.

HAMILTON, James D. This is what happened to the oil price-macroeconomic relationship. **Journal of Monetary Economics**, [https://doi.org/10.1016/S0304-3932\(96\)01282-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3932(96)01282-2), v. 38, p. 215-220, 1996.

HORSNELL, Paul. Oil Pricing Systems. **The Oxford Institute for Energy Studies**, 2000.

HUNTINGTON, Hillard G. Measuring oil supply disruptions: A historical perspective. **Energy Policy**, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.12.020>, v. 115, p. 426-433, April 2018.

JOO, Young C.; PARK, Sung Y. The impact of oil price volatility on stock markets: Evidences from oil-importing countries. **Energy Economics**, 23 June 2021. 1-13.

JÚNIOR, Francisco R. L.; CARPINETTI, Luiz C. R. Uma comparação entre métodos TOPSIS e Fuzzy-TOPSIS no apoio à tomada de decisão multicritério para seleção de fornecedores. **Gestão e Produção**, 2015. 17-34.

KAVIANI, Mohamad A. et al. An integrated grey-based multi-criteria decision-making approach for supplier evaluation and selection in the oil and gas industry. **Oil and gas industry**, 05 April 2019. 1-37.

KHAN, Mushtaq H. et al. Oil price volatility and stock returns: Evidence from three oil-price wars. **Wiley**, 11 August 2020. 1-21.

KILIAN, Lutz. Understanding the estimation of oil demand and oil supply elasticities. **Energy Economics**, 14 January 2022. 1-11.

LANDETA, Jon. Current validity of the Delphi method in social sciences. **Technological Forecasting and Social Science**, 8 September 2005. 467-482.

LI, Xiafei et al. Forecasting crude oil volatility with uncertainty indicators: New evidence. **Energy Economics**, 4 March 2022. 1-19.

MARQUES, Joana B. V.; FREITAS, Denise. Método DELPHI: caracterização e potencialidades na pesquisa em Educação. **Proposições**, maio 2018. 389-415.

MARTINS, G. M. Uma contribuição ao gerenciamento de risco da segurança dos sistemas de transporte: um modelo fuzzy-hierárquico para a avaliação do nível de ameaça intencional a um sistema, Rio de Janeiro, 2008.

MCWILLIAMS, Ben et al. How would the European Union fare without Russian energy? **Energy Policy** , 26 Janeiro 2023. 1-11.

MUTA, Toru; ERDOGAN, Musa. International Energy Agency - Commentaries. **The global energy crisis pushed fossil fuel consumption subsidies to an all-time high in 2022**, 16 February 2023.

NASIN, Asma et al. Energy shocks and bank efficiency in emerging economies. **Energy Economics**, 31 Agosto 2023. 1-12.

PANELLA, Massimo; BARCELLONA, Francesco; D'ECCLESIA, Rita L. Forecasting Energy Commodity Prices Using Neural Networks. **Advances in Decision Sciences**, p. 1-26, 2012.

PETROLEUM, British. Statistical Review of World Energy, 2021. Disponível em: <<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>>.

PINTO, Priscila D. J. F. **Modelo fuzzy para priorização de variáveis qualitativas de desempenho:** Uma abordagem em construção naval L. Rio de Janeiro: [s.n.]. 2019.

RADULESCO, Doina; SULGER, Philippe. Interdependencies between countries in the provision of energy. **Energy Economics**, 17 January 2022. 1-12.

RAST, Martin. Fuzzy neural networks. **Mathematisches Institut**, 2001.

ROSS, Timothy. Fuzzy Logic with Engineering Applications. In: _____ **Fuzzy Logic with Engineering Applications**. New Mexico: Wiley, 2010.

SAMUELSON, Paul A.; NORDHAUS, Willian D. Oferta e Procura em Mercados Individuais. In: _____ **Economia**. [S.l.]: Mc Graw Hill, 1993. p. 84-86.

SILVA, Monique D. Avaliacao da localicazao de usinasde biodiesel com o uso de logica fuzzy, Rio de Janeiro, Setembro 2015.

SOUZA, Roberta. Fundamentos de Economia e Administração, São Paulo, 2016.

SULEYMAN, Mustafa. **The Coming Wave**.

SUN, Xiaolei; HAO, Jun; LI, Jianping. Multi-objective optimization of crude oil-supply portfolio based on interval prediction data. **Annals of Operations Research**, 1 July 2022. 1-29.

TANAKA, Kazuo. Fuzzy Sets. In: _____ **An Introductions to Fuzzy Logic for Pratical Applications**. New York: Springer, 1996. p. 17.

TÖBBEN, Johannes. On the simultaneous estimation of physical and monetary commodity flows. **ECONOMIC SYSTEMS RESEARCH**, p. 1-24, 2017.

VASILJEVA, Marina V. et al. Crude Oil Market Functioning and Sustainable Development Goals: Case of OPEC++-Participating Countries. **Sustainability**, 15 April 2022. 1-23.

WANG, Fan et al. Universal law in the crude oil market based on visibility graph algorithm and network structure. **Resources Policy**, 2 December 2020. 1-6.

WANG, Lu et al. The importance of extreme shock: Examining the effect of investor sentiment on the crude oil futures market. **Energy Economics**, 11 May 2021. 1-14.

WANG, Shuang et al. Handling financial risks in crude oil imports: Taking into account crude oil prices as well as country and transportation risks. **Transportation Research**, December 2020. 1-17.

WEN, Danyan et al. Forecasting crude oil market returns: Enhanced moving average technical indicators. **Resources Policy**, 29 January 2022. 1-12.

YOUSSEF, Manel; MOKNI, Khaled. Do Crude Oil Prices Drive the Relationship between Stock Markets of Oil-Importing and Oil-Exporting Countries? **Economies**, 10 July 2019. 1-22.

YUAN, Meng et al. Downstream oil supply security in China: Policy implications from quantifying the impact of oil import disruption. **Energy Policy**, 4 November 2019. 1-17.

ZADEH, Lotif A. Fuzzy Logic and approximate reasoning. **CALCULUS OF FUZZY RESTRICTIONS**, Berkeley, 1975. 407-428.

ZHANG, Wencheng; WEI, Rui; PENG, Shuijun. The oil-slick trade: An analysis of embodied crude oil in China's trade and consumption. **Energy Economics**, 16 April 2020. 1-9.

ZHANG, Zaixuan; CHEN, Zhansheng; XU, Liying. Artificial intelligence and moral dilemmas: Perception of ethical decision-making in AI. **Journal of Experimental Social Psychology**, 05 April 2022. 1-8.

ZHENG, Shuxian et al. Preliminary study on the global impact of sanctions on fossil energy trade: Based on complex network theory. **Energy for Sustainable Development**, 12 November 2022. 517-531.

APÊNDICE 1 - INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS DOS ESPECIALISTAS

CONFIDENCIAL

Formação acadêmica do especialista 1Engenharia Mecânica, UFRJ

- MBA Executivo, Fundação Dom Cabral

Experiência relevante do profissional do especialista

- 24 anos de experiência internacional na indústria de petróleo
- 8 anos de experiência como *trader* de petróleo e derivados na Europa e América do Norte
- 5 anos de experiência em otimização de suprimento de petróleo e derivados
- Empresas: Shell, Parkland, Petroineos *Trading and Refining*, Puma Energy.

Instrumento de Coleta de Dados do Especialista 2:

- Engenharia Mecânica & Econômica

Experiência relevante do profissional do especialista

- Experiência internacional na indústria de petróleo
- Experiência com otimização econômica de refinarias
- Experiência como *trader* de petróleo e derivados na Europa
- Empresas: OMV, Prax, Klesch Petroleum.

Contribuição para Metodologia

P: Quais são os fatores mais importantes para a seleção de óleos crus?

R: Os fatores mais importantes são a margem de refino de cada oferta se aquela qualidade de óleo cru está tecnicamente aprovada e se aquela qualidade de cru de adequa bem à situação da refinaria.

P: O que é a aprovação técnica da qualidade de um óleo cru?

R: Cada óleo cru possui características muito específicas, como a composição de suas moléculas (mais pesadas ou leves), a quantidade de enxofre e conteúdo de produtos químicos aromáticos, como benzeno. O primeiro passo na aprovação do óleo cru, é a análise de seu perfil de qualidade, chamado de *crude assay*. O próximo passo é a execução

de testes do cru pela refinaria, observação do impacto na produção e potencial dano às instalações. Ao final destes testes, o cru pode ser aprovado, aprovado com restrições (por exemplo só pode ser usado após uma campanha com um óleo mais leve), ou não aprovado.

P: O que é a adequação à situação da refinaria:

R: Em um dado momento, uma refinaria pode por exemplo estar próxima de um ciclo de manutenção e ter uma unidade já ao fim de sua vida que limita os tipos de matéria prima que podem ser processados. Outra limitação é o último cru processado. Após uma campanha de processamento com um óleo muito leve, pode se preferir um óleo mais pesado e vice-versa, para manter as unidades da refinaria dentro de parâmetros técnicos seguros. Limitações momentâneas também podem ser logísticas, como a manutenção de um píer ou de um tanque limitando o tamanho da carga que pode ser recebida.

P: Como normalmente é feita a seleção do óleo cru a ser comprado?

Fazemos uma avaliação semanal. Os *traders* informam semanalmente os preços dos diferentes óleos crus (avaliamos aproximadamente 70 variedades existentes no mercado) e dos derivados de petróleo produzidos. Os preços são tipicamente informados como a soma de um marcador de preço reconhecido e publicado regularmente, somado ou subtraído de um diferencial fixo. Esses preços, assim como outros dados pressupostos são utilizados para rodar um programa complexo, chamado LP (*linear programming*) que modela as unidades da refinaria e estima a margem de lucro de refino para cada qualidade de óleo cru.

Em seguida, as diferentes qualidades são ranqueadas de acordo com a margem de lucro calculada. As qualidades que oferecem margens mais altas são então avaliadas do ponto de vista técnico. Finalmente, as qualidades mais atraentes são consideradas para compra. A partir daí, os *traders* consideram tanto a margem quanto uma série de outros fatores subjetivos e buscam assim comprar a oferta de óleo cru mais favorável para a refinaria.

Muitas vezes, existem qualidades de óleos crus que apresentam margens de refino teoricamente atraentes, mas que não são tecnicamente bem adequados a uma dada refinaria. Quando isto acontece com frequência com determinadas qualidades, devem-se

fazer estudos e investimentos de médio ou longo prazo para aumentar a flexibilidade e consequentemente a competitividade da refinaria.

Grau de importância dos indicadores e avaliação dos fatores

A planilha do grau de importância de indicadores para a tomada de decisão de compra de petróleo para uma refinaria faz parte de um trabalho de pesquisa e tem por objetivo determinar a relevância dos indicadores, relacionados à seleção de uma oferta ou conjunto de ofertas de óleo cru para o suprimento de uma refinaria, em dado momento. Vale lembrar que uma negociação de compra pode alcançar a ordem de centenas de milhões de dólares.

O sucesso da pesquisa depende da qualidade dos julgamentos produzidos. A Lógica *Fuzzy* será empregada para agregar as avaliações e hierarquizar os indicadores.

Você especialista, atribua as importâncias aos indicadores, segundo a escala da tabela abaixo.

Tabela 64: Lista de importância de indicadores

Crítico:	a existência do fator em níveis elevados é indispensável para o êxito do projeto
Condicionante:	a existência do fator em níveis significativos é desejável para o sucesso do empreendimento
Pouco condicionante	a existência do fator não é determinante para a atividade, mas pode indicar condições favoráveis de competitividade
Irrelevante	o fator não impacta significativamente no empreendimento

Tabela 65: Lista de definição de fatores

Margem de refino em função do preço final entregue e da qualidade do óleo (\$ /barril)	Valor total obtido pela venda de derivados produzidos, menos o custo do óleo cru, menos custos de produção.
Prazo de Pagamento	O pagamento da fatura normalmente é feito 2 dias após a entrega. No modo FOB, a entrega se dá no momento da carga no porto de origem, caracterizado pela passagem na válvula do porto. Nos modos DAT e <i>No Tanque</i> , a entrega se dá no momento da descarga no porto ou no terminal de destino, caracterizado pela passagem na válvula do cliente.

	A fatura no modo FOB, portanto, é entregue mais cedo, havendo a necessidade de financiamento do capital de giro durante todo o tempo de transporte. Portanto, o prazo de pagamento é mais sensível ao modo de entrega FOB.
Data de Entrega (+ ou - dias em relação a data ideal)	A refinaria determina a melhor data de entrega de cada carga, dentro de certa margem de variação. Para cargas menores e múltiplas, pode haver maior flexibilidade. Entretanto, se o recebimento for de uma carga mais volumosa, a data de entrega torna-se mais sensível, devido à necessidade de adequação mais precisa do espaço no porto e nos tanques.
Relacionamento com supridor	Um bom relacionamento com o supridor facilita as discussões e negociações com o comprador e pode assumir, na prática, maior relevância do que objetivamente merece.
Pré -registro no sistema de pagamento	O registro no sistema de pagamento das empresas é um requerimento básico para a execução do negócio, incluindo a geração de contratos formais e o pagamento. Este registro tipicamente inclui itens como verificação de crédito e um formulário para se conhecer a estrutura societária da outra empresa, chamado de KYC (<i>Know Your Customer</i>). Um registro e pré-aprovação no sistema previnem potenciais atrasos para a conclusão do negócio, que pode chegar a mais de uma semana. A Shell, por exemplo, tem processos mais exigentes para entrada do supridor no sistema do que outras empresas do ramo. Portanto, este fator para a Shell é mais sensível, enquanto para a Petroineos, menos metódica em relação ao registro, o fator tende a ser menos condicionante.
Compatibilidade de padrão e tamanho de navios nos portos de carga e descarga	Cada porto possui características próprias devido à sua geografia e infraestrutura. Na consideração da geografia inclui-se, por exemplo, o calado, a tábua local das marés, condições físicas das águas, como por exemplo, a potencial presença gelo. A infraestrutura inclui capacidades máximas e mínimas do navio, seu tamanho e equipamento de bombeamento. Este conjunto de características determina se dado navio pode atracar, carregar ou descarregar o produto no porto. Algumas características, como o número de marinheiros necessários para a operação ou um volume máximo permitido, podem ser adaptadas, outras, como o tamanho do navio, são dadas.
Procedimentos de segurança no terminal de carga alinhados com comprador	As empresas possuem procedimentos de segurança para evitar incidentes em suas cargas e descargas de produto. É necessário um alinhamento destes procedimentos para que a tripulação do navio possa trabalhar com a equipe do porto de forma segura. Há empresas com diferentes procedimentos, o que pode requerer ajustes específicos para concretização de determinados negócios.
Histórico de performance de entrega (número de problemas nos últimos 3 anos)	Receber o petróleo comprado dentro de todas as condições acordadas, como data e qualidade, é decisivo para o bom funcionamento de uma refinaria. Portanto, empresas com bom histórico de performance tem vantagem na conclusão de negócios.

Risco de interrupções no porto de carga	Este fator é altamente dependente da conjuntura internacional. Como exemplo, pandemia, problemas trabalhistas, greves, conflitos armados e eventuais sanções impostas ao fornecedor podem tornar este fator mais importante.
Risco de casos de COVID no pessoal do navio	Durante o auge pandemia, o risco de contaminação por COVID era um fator muito relevante para a tomada de decisão, que poderia causar interrupções e sérios atrasos na entrega.
Alinhamento dos termos do contrato	O Contrato é um documento formal que contém seções-padrão e customizadas, que devem ter cláusulas totalmente alinhadas entre vendedor e comprador para que o negócio possa ser efetivado. Um pré-alinhamento de padrão de contrato facilita a conclusão do negócio entre as partes.
Disponibilidade de navios adequados no mercado aberto de frete	Depende tanto da liquidez típica do tipo de navio na região, quanto da disponibilidade momentânea daquele tipo de navio no local. Por exemplo, o Golfo do México tipicamente tem maior liquidez e opções de navios do que o Mar Báltico.
Disponibilidade de espaço na conexão tanque a tanque	Só é relevante para o tipo de entrega que utiliza o simples transporte da carga de um tanque localizado em terminal de origem próximo ao porto de recebimento, conectado por oleoduto às instalações do comprador.
Pré-aprovação do porto de carga	Um porto de carga pré-aprovado tipicamente já foi auditado pela empresa em relação à segurança de procedimentos instalações. A pré-aprovação evita atrasos na conclusão do negócio.

Tabela 66: Descrição da forma logística de entrega

Opções	Descrição das opções de demanda	Nome Curto
A	3 navios de 150kt recebimento FOB no porto de origem	3 navios FOB
B	3 navios de 150kt entrega DAT com entrega já no porto de demanda	3 navios DAT
C	1 navio de 450kt recebimento FOB no porto de origem	1 navio FOB
D	Entrega DAP em tanque por bombeamentos semanais de terminais adjacentes	No tanque

Tabela 67: Modelo de planilha de determinação do grau de importância dos indicadores
(a ser preenchida pelo especialista)

Fator (f)	Opção A	Opção B	Opção C	Opção D
	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Margem de refino (\$ por barril)				
Prazo de pagamento				
Data de entrega (\pm dias em relação à data ideal)				
Relacionamento com supridor				
Pré-registro no sistema de pagamento				
Compatibilidade de padrão e tamanho do navio nos portos de carga e descarga				
Procedimentos de segurança no terminal de carga, alinhados com comprador				
Histórico de performance de entrega (número de problemas nos últimos 3 anos)				
Risco de interrupções no porto de carga				
Risco de casos de COVID com a tripulação do navio				
Alinhamento dos termos do contrato				
Disponibilidade de navios adequados, no mercado aberto de frete				
Disponibilidade de espaço na conexão tanque a tanque				
Pré-aprovação do porto de carga				

Fatores	Excelente	Bom	Regular	Fraco
Margem de refino em função do preço final entregue e qualidade (\$ por barril)	Maior que +\$10	Entre \$8 e \$10	Entre \$4 e \$8	Menor que \$4
Prazo de Pagamento	Maior que 30 dias	15 a 30 dias	3 a 15 dias	Menor que 3 dias
Data de Entrega (± dias em relação à data ideal)	1	3	4	maior que 4
Relacionamento com supridor	Excelente	Bom	Regular	Fraco
Pré-registro no sistema de pagamento	Completo e automatizado	Completo, mas não automatizado	Parcial	Não existente
Histórico de Segurança (número de eventos de segurança nos últimos 3 anos)	0	1	2	Maior que 2
Procedimentos de segurança no terminal de carga, alinhados com comprador	Atende a padrões internacionais e da empresa compradora	Atende a padrões internacionais, mas parcialmente para empresa compradora	-	Não atende a padrões internacionais ou da empresa compradora
Histórico de performance de entrega (número de problemas nos últimos 3 anos)	0	1	2	Maior que 2
Risco de interrupções no porto de carga	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto
Risco de casos de COVID no pessoal do navio (no momento do preenchimento)	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto
Alinhamento de termos do contrato	Pré-existência de contratos padrões alinhados	Forte histórico de contratos entre as partes, mas, sem padrões Pré-acordados	Fraco histórico de contratos entre as empresas	Histórico de problemas de termos de contrato nos últimos 3 anos
Diferença de fuso horário entre comprador e vendedor	Nenhuma	Até 3 horas	3 a 6 horas	Maior que 6 horas
Disponibilidade de transporte adequado	Boa liquidez e boa disponibilidade	Média liquidez e boa disponibilidade	Média liquidez e média disponibilidade	Fraca liquidez ou disponibilidade
Pré-aprovarão do porto de carga	Aprovado	Aprovado com pequenas restrições	Aprovado com restrições importantes	Não aprovado

Margem de refino em função do preço final entregue e da qualidade do óleo (\$ /barril)	Valor total obtido pela venda de derivados produzidos, menos o custo do óleo cru, menos custos de produção.
Prazo de Pagamento	O pagamento da fatura normalmente é feito 2 dias após a entrega. No modo FOB, a entrega se dá no momento da carga no porto de origem, caracterizado pela passagem na válvula do porto. Nos modos DAT e <i>No Tanque</i> , a entrega se dá no momento da descarga no porto ou no terminal de destino, caracterizado pela passagem na válvula do cliente. A fatura no modo FOB, portanto, é entregue mais cedo, havendo a necessidade de financiamento do capital de giro durante todo o tempo de transporte. Portanto, o prazo de pagamento é mais sensível ao modo de entrega FOB.
Data de Entrega (+ ou - dias em relação a data ideal)	A refinaria determina a melhor data de entrega de cada carga, dentro de certa margem de variação. Para cargas menores e múltiplas, pode haver maior flexibilidade. Entretanto, se o recebimento for de uma carga mais volumosa, a data de entrega torna-se mais sensível, devido à necessidade de adequação mais precisa do espaço no porto e nos tanques.
Relacionamento com supridor	Um bom relacionamento com o supridor facilita as discussões e negociações com o comprador e pode assumir, na prática, maior relevância do que objetivamente merece.
Pré -registro no sistema de pagamento	O registro no sistema de pagamento das empresas é um requerimento básico para a execução do negócio, incluindo a geração de contratos formais e o pagamento. Este registro tipicamente inclui itens como verificação de crédito e um formulário para se conhecer a estrutura societária da outra empresa, chamado de KYC (<i>Know Your Customer</i>). Um registro e pré-aprovação no sistema previnem potenciais atrasos para a conclusão do negócio, que pode chegar a mais de uma semana. A Shell, por exemplo, tem processos mais exigentes para entrada do supridor no sistema do que outras empresas do ramo. Portanto, este fator para a Shell é mais sensível, enquanto para a Petroineos, menos metódica em relação ao registro, o fator tende a ser menos condicionante.
Compatibilidade de padrão e tamanho de navios nos portos de carga e descarga	Cada porto possui características próprias devido à sua geografia e infraestrutura. Na consideração da geografia inclui-se, por exemplo, o calado, a tábua local das marés, condições físicas das águas, como por exemplo, a potencial presença gelo. A infraestrutura inclui capacidades máximas e mínimas do navio, seu tamanho e equipamento de bombeamento. Este conjunto de características determina se dado navio pode atracar, carregar ou descarregar o produto no porto. Algumas características, como o número de marinheiros necessários para a operação ou um volume

	máximo permitido, podem ser adaptadas, outras, como o tamanho do navio, são dadas.
Procedimentos de segurança no terminal de carga alinhados com comprador	As empresas possuem procedimentos de segurança para evitar incidentes em suas cargas e descargas de produto. É necessário um alinhamento destes procedimentos para que a tripulação do navio possa trabalhar com a equipe do porto de forma segura. Há empresas com diferentes procedimentos, o que pode requerer ajustes específicos para concretização de determinados negócios.
Histórico de performance de entrega (número de problemas nos últimos 3 anos)	Receber o petróleo comprado dentro de todas as condições acordadas, como data e qualidade, é decisivo para o bom funcionamento de uma refinaria. Portanto, empresas com bom histórico de performance tem vantagem na conclusão de negócios.
Risco de interrupções no porto de carga	Este fator é altamente dependente da conjuntura internacional. Como exemplo, pandemia, problemas trabalhistas, greves, conflitos armados e eventuais sanções impostas ao fornecedor podem tornar este fator mais importante.
Risco de casos de COVID no pessoal do navio	Durante o auge pandemia, o risco de contaminação por COVID era um fator muito relevante para a tomada de decisão, que poderia causar interrupções e sérios atrasos na entrega.
Alinhamento dos termos do contrato	O Contrato é um documento formal que contém seções-padrão e customizadas, que devem ter cláusulas totalmente alinhadas entre vendedor e comprador para que o negócio possa ser efetivado. Um pré-alinhamento de padrão de contrato facilita a conclusão do negócio entre as partes.
Disponibilidade de navios adequados no mercado aberto de frete	Depende tanto da liquidez típica do tipo de navio na região, quanto da disponibilidade momentânea daquele tipo de navio no local. Por exemplo, o Golfo do México tipicamente tem maior liquidez e opções de navios do que o Mar Báltico.
Disponibilidade de espaço na conexão tanque a tanque	Só é relevante para o tipo de entrega que utiliza o simples transporte da carga de um tanque localizado em terminal de origem próximo ao porto de recebimento, conectado por oleoduto às instalações do comprador.
Pré-aprovação do porto de carga	Um porto de carga pré-aprovado tipicamente já foi auditado pela empresa em relação à segurança de procedimentos instalações. A pré-aprovação evita atrasos na conclusão do negócio.

Fator (f)	Opção A	Opção B	Opção C	Opção D
	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Margem de refino (\$ por barril)				
Prazo de pagamento				
Data de entrega (\pm dias em relação à data ideal)				
Relacionamento com supridor				
Pré-registro no sistema de pagamento				
Compatibilidade de padrão e tamanho do navio nos portos de carga e descarga				
Procedimentos de segurança no terminal de carga, alinhados com comprador				
Histórico de performance de entrega (número de problemas nos últimos 3 anos)				
Risco de interrupções no porto de carga				
Risco de casos de COVID com a tripulação do navio				
Alinhamento dos termos do contrato				
Disponibilidade de navios adequados, no mercado aberto de frete				
Disponibilidade de espaço na conexão tanque a tanque				
Pré-aprovação do porto de carga				

Fator (f)	Opção A	Opção B	Opção C	Opção D
	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Margem de refino (\$ por barril)				
Prazo de pagamento				
Data de entrega (\pm dias em relação à data ideal)				
Relacionamento com supridor				
Pré-registro no sistema de pagamento				
Compatibilidade de padrão e tamanho do navio nos portos de carga e descarga				
Procedimentos de segurança no terminal de carga, alinhados com comprador				
Histórico de performance de entrega (número de problemas nos últimos 3 anos)				
Risco de interrupções no porto de carga				
Risco de casos de COVID com a tripulação do navio				
Alinhamento dos termos do contrato				
Disponibilidade de navios adequados, no mercado aberto de frete				
Disponibilidade de espaço na conexão tanque a tanque				
Pré-aprovação do porto de carga				

APÊNDICE II: MATRIZES DE COTEJO PARA AS REFINARIAS DE PERNIS E GRANGEMOUTH

Pernis - Matriz de cotejo para margem de refino em função do preço final e qualidade entregue

Opcões	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	0,5	0,5	0,5	0,5
Petrobras - Brasil	0,2	0,2	0,2	0,2
Gasprom - Russia	1,0	1,0	1,0	1,0
Esso - Pernis	0,5	0,5	0,5	0,5
BP - Golfo do Mexico	0,5	0,5	0,5	0,5
Shell - Mar do Norte	1,0	1,0	1,0	1,0
Vitol	1,0	1,0	1,0	1,0
Glencore	1,0	1,0	1,0	1,0
Total – Mar do Norte	1,0	1,0	1,0	1,0

Pernis - Matriz de cotejo para prazo de pagamento

Opcões	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	0,7	1,0	0,7	1,0
Petrobras - Brasil	0,7	1,0	0,7	1,0
Gasprom - Russia	0,7	1,0	0,7	1,0
Esso - Pernis	0,7	1,0	0,7	1,0
BP - Golfo do Mexico	0,7	1,0	0,7	1,0
Shell - Mar do Norte	1,0	1,3	1,0	1,3
Vitol	1,0	1,3	1,0	1,3
Glencore	1,0	1,3	1,0	1,3
Total – Mar do Norte	1,0	1,3	1,0	1,3

Pernis - Pernis - Matriz de cotejo para data da entrega

Opcões	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	0,4	0,4	0,2	0,4
Petrobras - Brasil	0,7	0,7	0,5	0,7
Gasprom - Russia	0,7	0,7	0,5	0,7
Esso - Pernis	1,2	1,2	1,0	1,2
BP - Golfo do Mexico	0,7	0,7	0,5	0,7
Shell - Mar do Norte	1,2	1,2	1,0	1,2
Vitol	1,0	1,0	0,8	1,0
Glencore	1,2	1,2	1,0	1,2
Total – Mar do Norte	1,0	1,0	0,8	1,0

Pernis - Matriz de cotejo para relacionamento com o supridor

Opcões	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	1,0	1,0	1,0	1,0
Petrobras - Brasil	1,0	1,0	1,0	1,0
Gasprom - Russia	0,7	0,7	0,7	0,7
Esso - Pernis	1,5	1,5	1,5	1,5
BP - Golfo do Mexico	1,5	1,5	1,5	1,5
Shell - Mar do Norte	1,5	1,5	1,5	1,5
Vitol	1,3	1,3	1,3	1,3
Glencore	1,3	1,3	1,3	1,3
Total – Mar do Norte	1,3	1,3	1,3	1,3

Pernis - Matriz de cotejo para pré- registro no sistema de pagamento

Opcões	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	1,0	1,0	1,0	1,0
Petrobras - Brasil	0,7	0,7	0,7	0,7
Gasprom - Russia	1,0	1,0	1,0	1,0
Esso - Pernis	1,2	1,2	1,2	1,2
BP - Golfo do Mexico	1,2	1,2	1,2	1,2
Shell - Mar do Norte	1,2	1,2	1,2	1,2
Vitol	1,2	1,2	1,2	1,2
Glencore	1,2	1,2	1,2	1,2
Total – Mar do Norte	1,2	1,2	1,2	1,2

Pernis - Matriz de cotejo para compatibilidade de padrão e tamanho de navios nos portos de carga e descarga

Opcões	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	1,0	1,0	0,8	1,6
Petrobras - Brasil	0,7	0,7	0,5	1,3
Gasprom - Russia	0,4	0,4	0,2	1,0
Esso - Pernis	0,4	0,4	0,2	1,0
BP - Golfo do Mexico	1,0	1,0	0,8	1,6
Shell - Mar do Norte	1,2	1,2	1,0	1,8
Vitol	1,2	1,2	1,0	1,8
Glencore	1,2	1,2	1,0	1,8
Total – Mar do Norte	1,2	1,2	1,0	1,8

Pernis - Matriz de cotejo para procedimentos de segurança no terminal de carga alinhados com o comprador

Opcoes	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	1,0	1,0	1,0	1,0
Petrobras - Brasil	0,7	0,7	0,7	0,7
Gasprom - Russia	0,7	0,7	0,7	0,7
Esso - Pernis	1,2	1,2	1,2	1,2
BP - Golfo do Mexico	1,2	1,2	1,2	1,2
Shell - Mar do Norte	1,2	1,2	1,2	1,2
Vitol	1,0	1,0	1,0	1,0
Glencore	1,0	1,0	1,0	1,0
Total – Mar do Norte	1,2	1,2	1,2	1,2

Pernis - Matriz de cotejo para histórico de performance na entrega

Opcoes	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	1,0	0,7	1,0	0,7
Petrobras - Brasil	1,0	0,7	1,0	0,7
Gasprom - Russia	1,0	0,7	1,0	0,7
Esso - Pernis	1,5	1,2	1,5	1,2
BP - Golfo do Mexico	1,3	1,0	1,3	1,0
Shell - Mar do Norte	1,5	1,2	1,5	1,2
Vitol	1,3	1,0	1,3	1,0
Glencore	1,3	1,0	1,3	1,0
Total – Mar do Norte	1,5	1,2	1,5	1,2

Pernis - Matriz de cotejo para risco de interrupção no porto de carga

Opcoes	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	0,7	1,0	0,7	1,3
Petrobras - Brasil	0,4	0,7	0,4	1,0
Gasprom - Russia	0,4	0,7	0,4	1,0
Esso - Pernis	1,2	1,5	1,2	1,8
BP - Golfo do Mexico	1,2	1,5	1,2	1,8
Shell - Mar do Norte	1,2	1,5	1,2	1,8
Vitol	1,0	1,3	1,0	1,6
Glencore	1,0	1,3	1,0	1,6
Total – Mar do Norte	1,2	1,5	1,2	1,8

Pernis - Matriz de cotejo para risco de casos de infecção no pessoal do navio

Opcoes	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	1,3	1,3	1,3	1,6
Petrobras - Brasil	0,7	0,7	0,7	1,0
Gasprom - Russia	0,7	0,7	0,7	1,0
Esso - Pernis	1,0	1,0	1,0	1,3
BP - Golfo do Mexico	1,0	1,0	1,0	1,3
Shell - Mar do Norte	1,3	1,3	1,3	1,6
Vitol	1,3	1,3	1,3	1,6
Glencore	1,3	1,3	1,3	1,6
Total – Mar do Norte	1,3	1,3	1,3	1,6

Pernis - Matriz de cotejo para alinhamento aos termos do contrato

Opcões	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	1,0	1,0	1,0	1,0
Petrobras - Brasil	1,0	1,0	1,0	1,0
Gasprom - Russia	0,7	0,7	0,7	0,7
Esso - Pernis	1,5	1,5	1,5	1,5
BP - Golfo do Mexico	1,5	1,5	1,5	1,5
Shell - Mar do Norte	1,5	1,5	1,5	1,5
Vitol	1,0	1,0	1,0	1,0
Glencore	1,0	1,0	1,0	1,0
Total – Mar do Norte	1,5	1,5	1,5	1,5

Pernis - Matriz de cotejo para disponibilidade de navios adequados no mercado aberto de frete

Opcões	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	1,0	1,6	0,8	1,6
Petrobras - Brasil	0,7	1,3	0,5	1,3
Gasprom - Russia	1,0	1,6	0,8	1,6
Esso - Pernis	1,2	1,8	1,0	1,8
BP - Golfo do Mexico	0,7	1,3	0,5	1,3
Shell - Mar do Norte	1,2	1,8	1,0	1,8
Vitol	1,2	1,8	1,0	1,8
Glencore	1,2	1,8	1,0	1,8
Total – Mar do Norte	1,2	1,8	1,0	1,8

Pernis - Matriz de cotejo para disponibilidade de espaço na conexão tanque a tanque

Opcões	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	1,0	1,0	1,0	0,2
Petrobras - Brasil	1,0	1,0	1,0	0,2
Gasprom - Russia	1,0	1,0	1,0	0,2
Esso - Pernis	1,8	1,8	1,8	1,0
BP - Golfo do Mexico	1,0	1,0	1,0	0,2
Shell - Mar do Norte	1,0	1,0	1,0	0,2
Vitol	1,0	1,0	1,0	0,2
Glencore	1,0	1,0	1,0	0,2
Total – Mar do Norte	1,0	1,0	1,0	0,2

Pernis - Matriz de cotejo para pré-aprovação do porto de carga

Opcões	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	1,0	1,0	1,0	1,6
Petrobras - Brasil	0,7	0,7	0,7	1,3
Gasprom - Russia	0,7	0,7	0,7	1,3
Esso - Pernis	0,4	0,4	0,4	1,0
BP - Golfo do Mexico	1,2	1,2	1,2	1,8
Shell - Mar do Norte	1,2	1,2	1,2	1,8
Vitol	1,2	1,2	1,2	1,8
Glencore	1,2	1,2	1,2	1,8
Total – Mar do Norte	1,2	1,2	1,2	1,8

Grangemouth – Matriz de cotejo para margem de refino em função do preço final e qualidade entregue

Opcoes	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	0,5	0,5	0,5	0,5
Petrobras - Brasil	0,2	0,2	0,2	0,2
Gasprom - Russia	0,8	0,8	0,8	0,8
Esso - Iraq	0,5	0,5	0,5	0,5
BP - Golfo do Mexico	0,5	0,5	0,5	0,5
Shell - Mar do Norte	1,0	1,0	1,0	1,0
Vitol	1,0	1,0	1,0	1,0
Glencore	1,0	1,0	1,0	1,0
Total - Mar do Norte	1,0	1,0	1,0	1,0

Grangemouth – Matriz de cotejo para prazo de pagamento

Opcoes	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	0,7	1,0	0,7	1,0
Petrobras - Brasil	0,7	1,0	0,7	1,0
Gasprom - Russia	0,7	1,0	0,7	1,0
Esso - Iraq	0,7	1,0	0,7	1,0
BP - Golfo do Mexico	0,7	1,0	0,7	1,0
Shell - Mar do Norte	1,0	1,3	1,0	1,3
Vitol	1,2	1,5	1,2	1,5
Glencore	1,2	1,5	1,2	1,5
Total - Mar do Norte	1,0	1,3	1,0	1,3

Grangemouth – Matriz de cotejo para data de entrega

Opcoes	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	0,4	0,4	0,2	0,4
Petrobras - Brasil	0,4	0,4	0,2	0,4
Gasprom - Russia	0,4	0,4	0,2	0,4
Esso - Iraq	0,4	0,4	0,2	0,4
BP - Golfo do Mexico	0,4	0,4	0,2	0,4
Shell - Mar do Norte	1,2	1,2	1,0	1,2
Vitol	1,0	1,0	0,8	1,0
Glencore	1,0	1,0	0,8	1,0
Total - Mar do Norte	1,2	1,2	1,0	1,2

Grangemouth – Matriz de cotejo relacionamento com o supridor

Opcoes	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	1,0	1,0	1,0	1,0
Petrobras - Brasil	1,0	1,0	1,0	1,0
Gasprom - Russia	0,7	0,7	0,7	0,7
Esso - Iraq	1,3	1,3	1,3	1,3
BP - Golfo do Mexico	1,3	1,3	1,3	1,3
Shell - Mar do Norte	1,5	1,5	1,5	1,5
Vitol	1,3	1,3	1,3	1,3
Glencore	1,3	1,3	1,3	1,3
Total - Mar do Norte	1,3	1,3	1,3	1,3

Grangemouth – Matriz de cotejo de pré-registro no sistema de pagamento

Opcoes	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	1,3	1,3	1,3	1,3
Petrobras - Brasil	1,0	1,0	1,0	1,0
Gasprom - Russia	1,3	1,3	1,3	1,3
Esso - Iraq	1,5	1,5	1,5	1,5
BP - Golfo do Mexico	1,3	1,3	1,3	1,3
Shell - Mar do Norte	1,3	1,3	1,3	1,3
Vitol	1,5	1,5	1,5	1,5
Glencore	1,5	1,5	1,5	1,5
Total - Mar do Norte	1,5	1,5	1,5	1,5

Grangemouth – Matriz de cotejo de compatibilidade de padrão e tamanho de navios nos portos de carga e descarga

Opcoes	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	0,7	0,7	0,5	1,3
Petrobras - Brasil	0,7	0,7	0,5	1,3
Gasprom - Russia	0,4	0,4	0,2	1,0
Esso - Iraq	1,0	1,0	0,8	1,6
BP - Golfo do Mexico	1,0	1,0	0,8	1,6
Shell - Mar do Norte	1,2	1,2	1,0	1,8
Vitol	1,0	1,0	0,8	1,6
Glencore	1,0	1,0	0,8	1,6
Total - Mar do Norte	1,0	1,0	0,8	1,6

Grangemouth – Matriz de cotejo para procedimentos de segurança no terminal de carga alinhados com o comprador

Opcões	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	1,3	1,3	1,3	1,3
Petrobras - Brasil	1,0	1,0	1,0	1,0
Gasprom - Russia	1,0	1,0	1,0	1,0
Esso - Iraq	1,5	1,5	1,5	1,5
BP - Golfo do Mexico	1,3	1,3	1,3	1,3
Shell - Mar do Norte	1,5	1,5	1,5	1,5
Vitol	1,5	1,5	1,5	1,5
Glencore	1,5	1,5	1,5	1,5
Total - Mar do Norte	1,5	1,5	1,5	1,5

Grangemouth – Matriz de cotejo para o histórico de performance de entrega

Opcões	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	1,0	0,7	1,0	0,7
Petrobras - Brasil	1,0	0,7	1,0	0,7
Gasprom - Russia	1,0	0,7	1,0	0,7
Esso - Iraq	1,0	0,7	1,0	0,7
BP - Golfo do Mexico	1,0	0,7	1,0	0,7
Shell - Mar do Norte	1,5	1,2	1,5	1,2
Vitol	1,5	1,2	1,5	1,2
Glencore	1,5	1,2	1,5	1,2
Total - Mar do Norte	1,5	1,2	1,5	1,2

Grangemouth – Matriz de cotejo para risco de interrupções no porto de carga

Opcoes	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	0,7	1,0	0,7	1,3
Petrobras - Brasil	0,4	0,7	0,4	1,0
Gasprom - Russia	0,7	1,0	0,7	1,3
Esso - Iraq	0,4	0,7	0,4	1,0
BP - Golfo do Mexico	0,7	1,0	0,7	1,3
Shell - Mar do Norte	1,2	1,5	1,2	1,8
Vitol	1,2	1,5	1,2	1,8
Glencore	1,2	1,5	1,2	1,8
Total - Mar do Norte	1,2	1,5	1,2	1,8

Grangemouth – Matriz de cotejo para risco de casos de infecção no pessoal do navio

Opcoes	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	0,7	0,7	0,7	1,0
Petrobras Brasil	0,7	0,7	0,7	1,0
Gasprom - Russia	0,7	0,7	0,7	1,0
Esso - Iraq	1,0	1,0	1,0	1,3
BP - Golfo do Mexico	1,0	1,0	1,0	1,3
Shell - Mar do Norte	1,5	1,5	1,5	1,8
Vitol	1,5	1,5	1,5	1,8
Glencore	1,5	1,5	1,5	1,8
Total - Mar do Norte	1,5	1,5	1,5	1,8

Grangemouth – Matriz de cotejo para alinhamento de termos de contrato

Opcoes	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	1,0	1,0	1,0	1,0
Petrobras - Brasil	1,0	1,0	1,0	1,0
Gasprom - Russia	0,7	0,7	0,7	0,7
Esso - Iraq	1,3	1,3	1,3	1,3
BP - Golfo do Mexico	1,3	1,3	1,3	1,3
Shell - Mar do Norte	1,5	1,5	1,5	1,5
Vitol	1,5	1,5	1,5	1,5
Glencore	1,5	1,5	1,5	1,5
Total - Mar do Norte	1,5	1,5	1,5	1,5

Grangemouth – Matriz de cotejo para disponibilidade de navios adequados no mercado aberto de frete

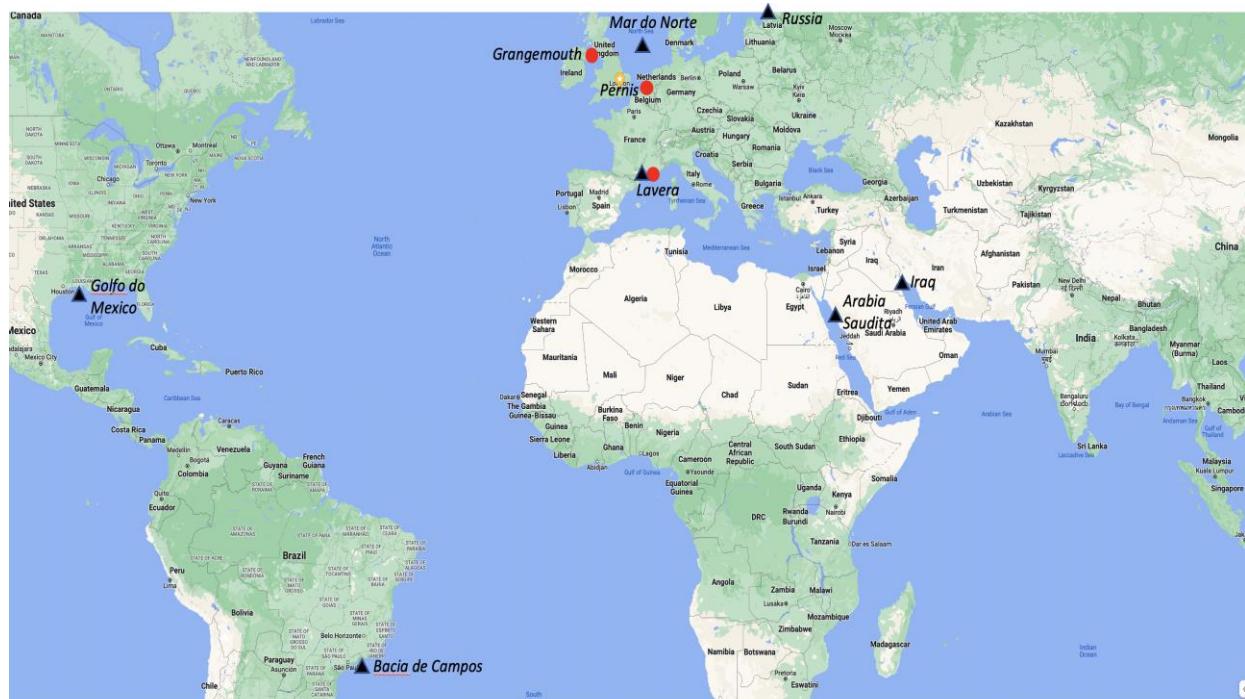
Opcoes	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	0,4	1,0	0,2	1,0
Petrobras - Brasil	0,4	1,0	0,2	1,0
Gasprom - Russia	0,4	1,0	0,2	1,0
Esso - Iraq	1,0	1,6	0,8	1,6
BP - Golfo do Mexico	1,0	1,6	0,8	1,6
Shell - Mar do Norte	1,2	1,8	1,0	1,8
Vitol	1,2	1,8	1,0	1,8
Glencore	1,2	1,8	1,0	1,8
Total - Mar do Norte	1,2	1,8	1,0	1,8

Grangemouth – Matriz de cotejo para disponibilidade de espaço na conexão tanque a tanque

Opcões	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	1,0	1,0	1,0	0,2
Petrobras - Brasil	1,0	1,0	1,0	0,2
Gasprom - Russia	1,0	1,0	1,0	0,2
Esso - Iraq	1,0	1,0	1,0	0,2
BP - Golfo do Mexico	1,0	1,0	1,0	0,2
Shell - Mar do Norte	1,8	1,8	1,8	1,0
Vitol	1,6	1,6	1,6	0,8
Glencore	1,6	1,6	1,6	0,8
Total - Mar do Norte	1,8	1,8	1,8	1,0

Grangemouth – Matriz de cotejo para pré-aprovação do porto de carga

Opcões	3 navios FOB	3 navios DAT	1 navio FOB	No tanque
Saudi Aramco - Arabia Saudita	1,3	1,3	1,3	1,6
Petrobras - Brasil	0,7	0,7	0,7	1,0
Gasprom - Russia	0,7	0,7	0,7	1,0
Esso - Iraq	1,0	1,0	1,0	1,3
BP - Golfo do Mexico	1,3	1,3	1,3	1,6
Shell - Mar do Norte	1,5	1,5	1,5	1,8
Vitol	1,5	1,5	1,5	1,8
Glencore	1,5	1,5	1,5	1,8
Total - Mar do Norte	1,5	1,5	1,5	1,8



Legenda:

Pontos de suprimento ▲

Pontos de recebimento ●

A FUZZY ANALYSIS APPLIED ON PHYSICAL COMMODITY MARKET

GUSTAVO B. ANDRADE¹; LUCIANA B. ANDRADE²; EDISON CONDE³;

CLÁUDIO GRECCO⁴; FABIO L. P. KRYKHTINE⁵; CARLOS A. COSENZA⁶

Abstract

Numerical algorithms and mathematical methods are regularly used in the commodities and stock markets. However, this so-called quantitative trading has been thus far typically limited to the paper markets, such as futures, swaps and options, and excluded the vast physical market. Literature relates successful attempts to use artificial intelligence and neural networks on physical commodity market, but essentially the trade of physical oil, so far, does not have a computer program that provides an unquestionable advance that goes beyond the profit margin calculation to include the more complex and partially subjective crude selection factories regularly used by traders. This work applies a fuzzy analysis in a novel approach to deliver a tool to improve the valuations of complex and subjective variables of a well-known hierarchical decision process, the COPPE-Cosenza fuzzy model, now applied on crude oil trade. This work shows that the fuzzy model can be a useful tool for better decision-making, communication, and management of physical commodities trading. In this case study three European refineries present their monthly crude oil demand. Offers are successfully evaluated according to numerical and fuzzy factors which reflect the real-world decision-making process of physical commodities traders.

Keywords: fuzzy analysis; COPPE-Cosenza fuzzy model; physical commodities trading; COVID-19; oil market trading; hierarchical decision process.

^{1,3,4,5,6}COPPE/UFRJ – Federal University of Rio de Janeiro, Brazil

² Mechanical Engineer/UFRJ; Senior oil trading professional

Acknowledgment: We appreciate the financial support provided by CAPES, funded by the Brazilian government.

1. Introduction

The global energy transition to lower carbon fuels is a well-known requirement to limit the impact of climate change. Europe still is extremely reliant on fossil resources both as a core primary energy source, and as input to its vast petrochemical complex that supplies the whole society. As new technology is developed and rolled out, more efficient use of fossil fuels, including carbon capture and storage, will be an important contribution to energy transition. Further, the recent crises such as the Ukrainian War and Covid-19 have also evidenced the level of the world interdependence, which shows that advances in one region can eventually benefit the society globally. Biswas and Bandyopadhyay [1] combined multi-criteria decision making (MCDM) framework of logarithmic percentage-change driven objective weighting (LOPCOW) and evaluation based on distance from average solution (EDAS) method to enfold the early impact of COVID-19 on firm performance from fast moving consumer goods and consumer durables sectors in emerging market.

Brazil has significantly decreased its external dependence on oil import with the recent raise of internal production. The rich deep-water offshore reserves, located in Campos and Santos shores, have already put the country among the largest world producers, results that 90% of domestic consumption is extracted from Brazilian fields. Compared to other countries, Brazilian energy matrix is well supplied of renewable sources such as hydroelectric power plants and liquid biofuels.

Recently, Oxford Institute for Energy Studies (2000) described how oil has been priced in the world market, a process that remains the same for more than thirteen years. However, the pattern of world trade oil flow has changed. The authors stated that Asian import of oil has risen sharply, while European one is being lowered, due to the increase in North Sea production. Additionally, West African crude oil production occupies a pivotal geopolitics position, and swings in the course of time into all three main oil consuming regions, according to market conditions.

To meet a demand of nearly 90 million barrels per day, around US\$10 billion of oil is traded daily. Efficiency improvement with the potential for rollouts at scale can therefore have material economic and energy transition impacts. In a way to assist efficiency in locating and distribute the best service, Dereci & Karabekmez [3] tried to

find routes that give the minimum distance for waste collection in Istanbul district. Karatas & Yakici [4] performed a multi-objective facility location using analytics model for determining the number and locations of temporary emergency service centers for a regional natural gas distribution company in Turkey. The solution approach provides decision-makers with a set of Pareto optimal solutions and a unique compromise solution for all objectives incorporated in the decision analytics model.

Mathematical methods and algorithms are widely currently used in the stock market and commodity market derivatives. Literature shows attempts to use artificial intelligence and neural networks on the analysis of physical commodity market, but essentially crude oil trade does not have a recognized computer program that represents an undisputed advance in the subjective way of evaluating oil purchasing options beyond a profit margin ranking. The so-called crude pecking order limits itself to ranking crude buying options according to their expected profit margin given a certain price. It does not consider other fuzzy crucial factors in crude selection, which together with the profit margin determine what option is ultimately purchased.

This work presents a novel analysis of the physical oil market, applying a fuzzy method as a decision-making tool on crude oil supply options for a refinery, using COPPE-Cosenza model [5]. The model showed at Pessoa et al. [6] is applied to a hypothetical case into simultaneous projects at different situations, including new alternatives, which can allow better results during the localization study as well as the analysis for decision-making. The studied cases here appear to prove that the fuzzy model is a useful tool for a more comprehensive and consistent evaluation of trading of physical commodities, handling suitable matrixes, shaped from linguistic variables. The obtained results are consistent with the current selection method, based primarily on individual judgment of trading specialists.

2. Fuzzy analysis applied to oil trade

Our understanding of most decision process applied to trade of commodities is largely based on imprecise human understanding. Being aware of this existing imprecision is useful for business. The ability to place such approach was in the past an intractable and complex problem, but this is the criterion through which the fuzzy logic efficacy is judged.

Zadeh et al. (1975) showed that fuzzy logic can be understood as an attempt to accommodate the nebulous real world with the inaccuracy of human cognition. Ross

[8] states that the technique involves concepts clearly defined through numerical boundaries related to linguistic statements to express subjective ideas which have different interpretations for different individuals. Natural language is sometimes incomprehensible, because it involves complex linguistic feelings, and employs vague and imprecise terms. For this reason, fuzzy logic as well as neural networks and artificial intelligence have been used as an effort to work with systems that involve diffuse and personal criteria, such as engineering, architecture, and decision-making in different areas of business.

Coppe-Cosenza model [9] was originally designed to support decision-makers in the task of choose sites for industrial facility construction. It uses three different steps: the first one tries to find the best locations; the second aims to indicate the best industrial facility for a defined location; the third guides the planner through the process of evaluating the project building at different sites. Although literature contains some fuzzy models for location choice, Coppe-Cosenza model provides a flexible framework to evaluate project options, and above all incorporates veto decisions.

Brilho et al. [10] also described a decision-making tool to locate an industrial activity at appointed regions. The authors emphasize that the process is not restricted to that application, being useful whenever one wishes to create a ranking of factors in a multi-criterion proceeding, at any type of supply and demand relationship.

Caggiani et al. (2014) estimated trade activities, such as the cargo transportation, under different economic conjunctures based on entropy maximization, applying a fuzzy analysis. The results showed a good estimation under different scenarios. Többen (2017) studied the composition and prices of commodities, using a model of simultaneous approximation, and obtained a well-consistent price estimation. Huntington [13] and Hamilton [14] pointed out that the prices of commodities, such as oil and gas, have a strong connection with the occurrence of natural events, as well as with far-reaching global crises. These events can change the equilibrium of supply and demand. More recently, Ferrari et al. (2021) tried to predict the price of energy, comparing different numerical models. They used data from International Monetary Fund and World Bank. The results came out unacceptable considering that the price forecast was fairly precise. Elaziz et al. (2019) also developed a prediction model for crude oil price, using a fuzzy inference system from neural networks, based on Takagi-Sugeno inference. The results showed a good ability to predict oil price fluctuations.

3. Oil market trade

Crude oil has the biggest volume among the world traded commodity, carrying out approximately per day transactions of 90 million barrels. Although oil is a commodity of enormous liquidity, market is very susceptible to changes such as political environment, weather conditions and to an obvious equilibrium of supply and demand. This high liquidity is not so effectual, since it depends on suitable quality of the offered product, logistics form of transport, and delivery times.

Each oil extraction field has a specific logistics capability, related with built infrastructure to exploit it. Some have access to marine logistics, making possible transportation by ship which connect their production straightforwardly to international market, making it more liquid. In some regions, such as the province of Alberta in Canada, fields are inland, with insufficient pipelines connections. In this way, part of the production needs to be drained by train or truck, expensive and less efficient options, worsening the oil value at the origin.

Free on Board (FOB) is a delivery category through which buyers receive the product and take all costs and risks at the point the oil leaves the source terminal pipeline and enters the ship. *Delivered at Terminal* (DAT) is understood as a kind of deliverance where the buyers receive the product, taking all costs and risks, precisely at the point the oil leaves the carriership and enters the buyer's pipeline at the reception terminal. On the other hand, it is understood as a *Tank Delivery* that one in which the supplier pumps the product from an adjacent terminal directly to the buyer's tank. The buyer takes all costs and risks at the point the product enters his tanks.

Each refinery has a specific list of usable qualities of processable raw oils. Only these well-known qualities can be purchased, which decreases the range of reasonable proposals. Each crude oil has its own quality or character, as DNA, a fingerprint capable to determine the production profile. This set of variables determines how attractive is a given crude oil offer, under economic point of view, condition expressed by the profit margin.

Typically, this calculation is performed by a computer program, using linear programming. Within a usual refinery planning process, computer generates a report called *Pecking Order*, which lists margins for different qualities and prices of the available oil. The profit margin or refining margin (RM), through a simple calculation, can be obtained as follows:

$$RM_i = (\sum_{j=1}^n p_j \times y_j) - p_i - c_i \quad (1)$$

where RM_i is the profit margin or refining margin of the crude oil i ; $\sum_{j=1}^n p_j \times y_j$ is the sum of the product of sale prices of the derivative product j (p_j) times the yield production fraction of the derivative (y_j), p_i is the purchase price of a quality crude oil and c_i is the total cost of processing the crude oil of quality i .

This numerical method, although widely used, does not consider a great number of relevant qualitative factors, often critical on the final purchasing decision. To select an option drives the purchaser to deal with nebulous and vague variables, whichever consumes time, and uses costly human resources. Each decision to buy a specific cargo, generally occurs each week, and involves hundreds of millions of dollars, which can make a good choice create a profit margin tens of millions of dollars greater than a bad one. The competitiveness of a refinery depends on several factors, but the process of planning the operation, which includes the decision to purchase the crude oil, is crucial in the final formation of the profit margin, which can determine the success and the survival of the refinery in an aggressive market. This is so true, that the decommissioning of non-competitive refinery is a very frequent process.

To deal with some of these vague variables, Cosenza et al [5] employed an algorithm based on Fuzzy Logic, particularly designed to enable an administrator to formulate public policies intended for industrial location. To do so, the authors developed an adequate set of matrix operators quite related to empirical reality.

4. Methodology

This study adapts the COPPE-COSENZA model to the crude oil selection process for refineries. This is the first step in a potential future improvement and even semi-automation of crude selection, with the objective increasing profit margins and feasibility of refineries. The description of the adapted COPPE-COSENZA model is presented here, using the expertise of a professional oil trader. The resultant model evaluates features of a set of supply offers including the expected profit margin of that offer, as well as fuzzy factors, for the final decision-making. To meet a specific demand of a refinery in Europe, the methodology consists in putting side by side the industrial demand with the supply proposal, relating aspects as cost, logistics, supply risks, business relationship and others.

It is established that the fuzzy set of \tilde{D} of ordered pairs, where $\tilde{D} = \{f_i, \mu_{\tilde{D}}(f_i) | f_i \in F\}$, the demand matrix \tilde{D} and $\mu_{\tilde{D}}(f_i) \in [0, 1]$, i.e., the set of the attributed significances of each factor i , between 0 and 1, which represents the degree of pertinence of each factor i ,

in the domain of D, assigned by the specialist, using linguistic variables, as established: *Critical*, if the existence of the factor at high levels is indispensable for the attractiveness of supply; *Conditional*, if the existence of the factor at significant levels is desirable for the attractiveness of supply; *Little conditional*, if the existence of the factor is not determinant for the attractiveness of the offer, but may indicate favorable conditions of convenience or competitiveness; and *Irrelevant*, if the factor does not significantly impact the attractiveness of the offer. Similarly, for the supply matrix, one has $\tilde{O} = \{\tilde{f}_i, \mu_{\tilde{O}}(f_i) | f_i \in F\}$, where \tilde{O} is the fuzzy notation of the supply matrix, and $\mu_{\tilde{O}}(f_i) \in [0, 1]$ represents the set of pertinence degree of each factor, in the considered supply location.

Relating linguistic variable with the degree of pertinence, you have: *Weak* equal to 0.2; *Regular* equal to 0.5; *Good* equal to 0.8 and *Excellent* equal to 1. Operating the two matrices, one can perform the correlation between demand and supply for each factor. This operation is expressed by $D_{hi} \otimes O_{ij} = C_{hj}$, where \otimes is the symbol of operator and C_{hj} represents the supply level satisfaction of the logistics option h, related to factor i. Then, it is established that $C_{hj} = 1 + [\mu_{\tilde{O}}(f_i) - \mu_{\tilde{D}}(f_i)]$ (2)

If $\mu_{\tilde{O}}(f_i) = \mu_{\tilde{D}}(f_i)$, then $C_{hj} = 1$. Which means, the option delivers a *Sufficient* level of service. If $\mu_{\tilde{O}}(f_i) < \mu_{\tilde{D}}(f_i)$ then the logistic option j does not satisfy the demand within the required level. Therefore, the supply level is *Insufficient*. But if $\mu_{\tilde{O}}(f_i) > \mu_{\tilde{D}}(f_i)$, then $C_{hj} > 1$, so the logistic option satisfies far above the need h. In this case, supply level is considered *Superior*. In the matrix C_{hj} , so called *collating matrix*, the maximum C_{hj} value in each column, indicates the best form of logistic supply, related to that column. On the other hand, the maximum value of C_{hj} , on a given line, indicates the best option of supply, related to that line. Finally, one can aggregate the demand by all factors, as well as the supply by all factors, obtaining the *supply options indices*, which reflect the result of the analysis. These indexes are the elements of δ_{hj} from the matrix Δ_{pxm} , determined as follows:

$$\delta_{hj} = \frac{[\text{sum of all } \mu_{\tilde{O}}(f_i) \text{ referred to the supply option } j]}{[\text{sum of all } \mu_{\tilde{D}}(f_i) \text{ referred to the logistic option } h]} \quad (3)$$

For the sum, the following rules were settled: (a) the sum of all degrees of pertinence related to *irrelevant* factors shall be less than or equal to the degree of pertinence referring to a *little conditional* factor; (b) the sum of all degrees of pertinence related to the *little conditional* factors shall be less than or equal to the degree of pertinence referring to a

conditional factor. The acquiescence to these rules allows any factor influencesthe analysis, but only factors of greater impact be considered in the final options. Thus, it is guaranteed that the options will be primarily weighed according to their *critical* and *conditional* demands. Likewise, as previously described in C_{hj} test, δ_{hj} can be greater, equal to or less than 1. Subjectively, at this point, it is established that values greater than 1 indicate *very competitive* offers; between 0.9 and 1 indicate *attractive offers*, while obtained values below 0.9 denote *unattractive offers*, and thus mustnot be considered, provided that some additional restraint does not appear. Using the proposed methodology, the selected option will not necessarily be the one which displays the higher profit margin, even an option with *excellent* profit margin, a factor considered *critical*. In the same way, a weak supply option, which is *critical* or *conditional*, has a tendency not to belong to the set of *very competitive* offers, and therefore must not have good chance to be selected.

5. Model development

The most important contribution of this study is the adaption of the COPPE-COSENZA model to the ranking and decision-making process of the physical commodities. While the attribute fuzzy values is this exercise come from a knowledgeable trading professional and are related to actual factors and potential evaluations, they are fictitious and have the sole purpose of illustrating the practical application of the methodology. In real situations, different professionals may qualify the factors dissimilarly. The simple transparency of the factor attributions and ranking results can drive high quality discussions of that evaluation. The factor attribution and ranking discussions further help improve the decision-making process, as well as the internal understanding of those decisions. That in itself can drive team development and supports management of the business.

To settle the demand matrix, linguistic variables are attributedto each factor, as shown in Table 1. The qualification of demand factors are established accordingly to trader expertise and company policy, as shown in Table 2. The refining margin is a given data,for each case. The grades of factors for supply matrixare defined in Table 3.

Table 1
Linguistic variable attributed for demand matrix factors

LOGISTICS OPTIONS				
Factors	3FOB	3 DAT	1FOB	Tank Delivery
Refining margin depending on final price delivered and quality (\$ per barrel)	Critical	Critical	Critical	Critical
Payment Deadline	Conditional	Little Conditional	Conditional	Little Conditional
Delivery Date (+ or - days in relation to the ideal date)	Conditional	Conditional	Critical	Conditional
Relations hip with supplier	Little Conditional	Little Conditional	Little Conditional	Little Conditional
Pre-registration in the payment system	Conditional	Conditional	Conditional	Conditional
Compatibility of class and size at loading and unloading ports	Conditional	Conditional	Critical	Irrelevant
Terminal safety procedures in matching buyer's procedures	Conditional	Conditional	Conditional	Conditional
Delivery performance history (number of issues in the last 3 years)	Little Conditional	Conditional	Little Conditional	Conditional
Risk of interruptions at port of charge	Conditional	Little Conditional	Conditional	Irrelevant
Risk of epidemic cases (e.g., Covid) over ship staff	Little Conditional	Little Conditional	Little Conditional	Irrelevant
Conformity of contract terms	Little Conditional	Little Conditional	Little Conditional	Little Conditional

Availability of suitable vessels in the open freight market	Conditional	Irrelevant	Irrelevant
Space availability in tank-to-tank connection	Irrelevant	Irrelevant	Irrelevant
Pre-approval of the cargo port	Conditional	Conditional	Conditional

Table 2
Qualification of the demand factors

Factors	Excellent	Good	Regular	Weak
Refining margin depending on the final price delivered and quality (\$ per barrel)	More than +\$10	Between \$8-	Between \$4- 8	Less than \$4
Payment Term	More than 30 days	Between 15 to 30 days	Between 3- 15 days	Less than 3 days
Delivery date (\pm days from the ideal date)	1	3	4	More than 4
Relationship with supplier	Excellent	Good	Regular	Weak
Pre-registration in the payment system	Complete and automated	Complete but not automated	Partial	Not observed
Security History (number of security events in the last 3 years)	0	1	2	More than 2
Cargo terminal security procedures, aligned with buyer	Meets international standards, but and purchasing company standards	Partially for purchasing company	-	Does not meet international or purchasing company standards
Delivery performance history (number of issues in the last 3 years)	0	1	2	More than 2
Risk of interruptions at the cargo port	Very low	Low	Medium	High
Risk of COVID cases in ship personnel (at time of filing)	Very low	Low	Medium	High

Alignment of contract terms	Pr e-existence of aligned standard contracts	Stron g history of contracts between parties, but no pre-agreed standards	Poor history of contracts between companies	History of contract terms issues in the last 3 years
Time zone difference between buyer and seller	-	Up to 3 hours	Up to 3 hours	More than 6 hours
Availability of adequate transport	Good liquidity and good availability	Medium liquidity and good availability	Medium liquidity and medium availability	Poor liquidity or availability
Pre-approval of the loading port	Approved	Approved with minor restrictions	Approved with important restrictions	Not approved

Table 3
Grades of factors for supply matrix

Offers	R	P	D	Rel	P	Co
efining margin	ayment Deadline	elivery Date	ationship with supply	re-registration	mpatibility of payment system	mpatibility of standard and size of ships in loading and unloading ports
Saudi Aramco - Saudi Arabia	E xcellent	E xcellent	G ood	G ood	G ood	Exc ellent
Petrobras - Campos Basin	W eak	R egular	R egular	R egular	R egular	Reg ular
Gazprom - Russia	G ood	R egular	R egular	We ak	G ood	We ak
Esso - Iraq	G ood	R egular	R egular	G ood	E xcellent	We ak
BP - Gulf of Mexico	G ood	R egular	G ood	G ood	E xcellent	Exc ellent
Shell - North Sea	G ood	R egular	G ood	G ood	G ood	Goo d
Vitol	E xcellent	R egular	G ood	R egular	E xcellent	Goo d
Glencore	G ood	R egular	R egular	R egular	E xcellent	Goo d
Total - Lavera	G ood	G ood	E xcellent	Exc ellent	E xcellent	We ak

Cont.Table3: Grades of factors factor for the supply matrix

Offers	Rel	P	Com	S	D	R
	ationship with supply	re-registration in the payment system	patibility of standard and size of ships in loading and unloading ports	safety procedures in terminal aligned loads with buyer	elivery performance history	isk of port of charge interruptions
Saudi Aramco - Saudi Arabia	Regular	Good	Good	Good	Regular	Regular
Petrobras - Bacia de Campos	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Weak
Gazprom - Russia	Weak	Good	Weakened	Regular	Regular	Weak
Esso - Iraq	Excellent	Excellent	Weak	Excellent	Excellent	Excellent
BP - Gulf of Mexico	Excellent	Excellent	Good	Excellent	Good	Excellent
Shell - North Sea	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent
Vitol	Good	Excellent	Excellent	Good	Good	Good
Glencore	Good	Excellent	Excellent	Good	Good	Good
Total - Lavera	Good	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent

6. Model's validation and analysis of the results

An important part of validation of a fuzzy hierarchical model is to correlate the outputs with the expert expectancies. This exercise uses a hierarchical fuzzy method to meet supply demands of three different oil refineries in Europe, under their strict requirements. Figure 1 displays the spots of supply and demand referred, in the exercises. Depending on the selection, a suitable logistic solution will come out, reflecting all the defined factors in the business.

6.1 Lavera Refinery

The Petroineos Lavera Refinery is situated on the Mediterranean coast, close to Marseille. Lavera is the largest oil industrial plant in Southern Europe, with the capacity to process 210,000 barrels per day. In this hypothetical case, close to real, it is assumed that Lavera needs to place an order of 350,000 tons of crude oil, delivered at the port at a given time. Supply and negotiation teams see different options in the market, that can satisfy business need. Oil can be delivered over four different logistics options.

In the first supply logistic option, here called 3 FOB, volume is delivered at origin port, using 3 loads of 150,000 tons each, at spaced dates. In the 2nd option, here called 3 DAT, cargo is delivered at destination port, using 3 loads of 150,000 tons each, also at spaced dates. The 3rd option, here called 1 FOB, delivers the total volume at the port of origin, using just 1 cargo of 450,000 tons. In the 4th option, the total volume is transported by pipes, from adjacent tanks, using 4 pumping operations, on spaced dates. In this exercise, it is considered that only Total has conditions to pump directly to the tank of the buyer's refinery. Each offer is related to a final cost of the delivered product, including all logistics costs. The profit margin is calculated by the specialist and is considered a critical factor for all purchaseoptions, as shown in Table 4. Note that in cases where a specific supply logistics option is not available by a certain supply player, that case is shown as non-applicable, or N/A

Table 4: Lavera's refining margin of per offer (US\$ per barrel)

Supply options	3	3	1	Tank
	FOB	DAT	FOB	Delivery
Saudi Aramco - Saudi Arabia	10,20	10,50	10,60	N/A
Petrobras - Bacia de Campos	3,00	N/A	3,50	N/A
Gazprom - Russia	8,50	N/A	9,00	N/A
Esso - Iraq	8,10	8,50	8,80	N/A
BP - Gulf of Mexico	9,00	9,70	9,50	N/A
Shell - North Sea	9,50	9,60	9,80	N/A
Vitol	N/A	10,20	N/A	N/A
Glencore	N/A	9,70	N/A	N/A

Table 5 shows the resulting supply options indices, which aggregate the demand by all factors, as well as the supply by all factors, and are the elements of δ_{hj} , from the matrix Δ_{pxm} , as described in the methodology. These supply options indices show the result of this more comprehensive analysis, then a simple ranking by refining unit profit margin. The supply options indices better reflect the decision-making process carried out by supply traders in the market.

According to the results showed in Table 5, the best trade to Lavera's claim is offered by Saudi Aramco, using 3 ships FOB. As said before, correlating the model outputs with the expert's expectation, Mediterranean refineries are often supplied by Middle East, beside the fact of three loads having lower risk than the load delivered by one single ship. Besides of that, Saudi Aramco tends to be more competitive on FOB

offers. Very close to this option is the offer of 3 ships DAT from BP, company's preferred method, which optimizes its available oil sources and ongoing freight contracts. Likewise, Shell can offer 3 ships FOB or DAT, that as well appear to be very competitive, considering that Shell has large volumes of crude oil in North Sea but also aboard oil tankers on the sea, which can be diverted and delivered at requested ports.

The state-owned Petrobras reaches low scores in this analysis. A key point is that approximately 90% of the oil produced in Brazil provide the national refineries, and Brazilian refineries are well suited to the qualities of this crude. Oil fields are along Brazilian shore, which makes the product less competitive to be transported to the Mediterranean Sea.

Table 5 Lavera - Δ matrix of supply indices

Procurement Options	3 FOB	3 DAT	1	Delivery in tank
		FOB		
Saudi Aramco - Saudi Arabia	1,08	0,935	0,91	N/A 9
Petrobras - Campos Basin	0,55	N/A	0,45	N/A
Gazprom - Russia	0,69	N/A	0,61	N/A
Esso - Iraq	0,62	0,45	0,53	N/A
BP - Gulf of Mexico	0,99	1,06	0,85	N/A
Shell - North Sea	1,01	1,00	0,86	N/A
Vitol	N/A	0,97	N/A	N/A
Glencore	N/A	0,84	N/A	N/A
Total - Lavera	N/A	N/A	N/A	0,77

Although Gazprom's offer has a good refining margin, it obtained very low scores because of the *weak* and *regular* grades attributed in the offer matrix, such as *poor* compliance with current regulations and contracts, as well as the lousy relationship with the buyer. Pumping option, although very convenient and safe from a logistical point of view, has higher local costs, and therefore tends to only be used at emergencies, such as load delivery delays caused by natural catastrophes, accidents capable to block Suez Canal, or emerging epidemic on ship's crew.

6.2 PernisShell Refinery, Netherlands

Shell Nederland Raffinaderij operates Pernis refinery in South Holland. It is an integrated refinery owned by Shell, which started operating in 1902, and today can process 444 million barrels per day of crude oil. Considering the geographic location of Pernis refinery in Rotterdam, within the most liquid oil trading area in Northwestern

Europe, the area comprised of the ports around Amsterdam, Rotterdam and Antwerp, known as ARA.

In the hypothetical example, as shown in Table 6, Shell offers the highest refining profit margin for all its available delivery options, namely 3 FOB, 3 DAT, 1 FOB. After Shell, Glencore, Total and Vitol offer the highest margins through 3 DAT deliveries. As in Lavera, the in-tank deliver is an expensive option showing a lower profit margin, though it scores highly in other areas such as relationship.

Table 6. Refining margins for Pernis

Supply alternatives	3 FOB	3 DAT	1 FOB	Tank delivery
Petrobras - Campos Basin	3,50	N/A	3,50	N/A
Esso - Pernis	N/A	N/A	N/A	5,00
BP - Gulf of Mexico	7,00	7,50	8,00	N/A
Shell - North Sea	11,00	12,00	12,00	N/A
Vitol	N/A	10,20	N/A	N/A
Glencore	N/A	11,00	N/A	N/A
Total - Lavera	N/A	10,50	N/A	N/A

6.3 Petroineos Refinery in Grangemouth, Scotland

Again, the method was applied to fulfil the same amount of required crude oil for Petroineos's refinery in Grangemouth, Scotland. This refinery has a direct pipeline link to one of the largest oil fields in the world, where the benchmark price for Brent oil is established, for the whole market. Although this refinery is supplied by a dedicated pipeline, similar alternatives of delivery were considered, as it was in the cases above. The main difference for supplying Grangemouth refinery is that only Shell, Vitol, Glencore and Total have access to the North Sea pipeline, directly connected to Grangemouth and shown in the in-tank delivery option. In this case, the refining margin is also a data of the exercise, shown in Table 7, and not a judgment of the specialist. The other offer matrix factors were determined according to the same criteria by the expert's judgment.

The conclusion of this hypothetical example is that this result may be a sign that in a low refinery margin environment, this refinery may struggle to stay competitive and justify the required maintenance investments to stay open and the medium term.

Table 7: Grangemouth - Refining margin per offer (US\$ per barrel)

Supply alternatives	3 FOB	3 DAT	1 FOB	Tank delivery
Saudi Aramco –Saudi Arabia	4,20	5,30	4,70	N/A
Petrobras –Campos Basin	3,70	N/A	3,90	N/A
Gazprom –Russia	8,50	N/A	9,00	N/A
Esso – Iraq	4,80	4,50	5,00	N/A
BP – Gulf of Mexico	5,50	5,80	6,50	N/A
Shell –North Sea	N/A	N/A	N/A	13,00
Vitol	N/A	N/A	N/A	12,00
Glencore	N/A	N/A	N/A	11,00
Total - Lavera	N/A	N/A	N/A	11,50

7. Conclusion

This study has developed a novel methodology for ranking physical commodities options. The methodology was applied to three cases, where crude oil demand is given for a refinery and market supply options are assessed through a mix of numerical, fuzzy and subjective factors. In the current refinery planning and trading practices, crudes are typically ranked according purely to feasibility and expected refining profit margin. This methodology is thus an improvement on current practices, since it incorporates to the formal crude ranking assessment complex non-numerical considerations which are usually not well documented or communicated internally and are subject to unconscious bias.

Going further, while derivatives trading is now largely done through computer programming, physical commodities trading still relies mostly on the work and expertise of traders. This methodology can both enhance the traders' decision-making process and communication, as well as in the future become a tool for semi-automation of physical oil trading.

For a practical implementation of this methodology, a refinement in the final ranking can be to tackle a mix of fuzzy and non-fuzzy logic for decision making. For this purpose, the numerical refining margins are recommended to be shown explicitly alongside the fuzzy evaluation, as thefinal decision will never be taken purely through an unconditional fuzzy process. However, the addition of fuzzy evaluation might accelerate and improve the choice,resulting in optimization of the supply process.

The case study above shows that this novel methodology, which is originally based on the Coppe-Cosenza model leads to results with high consistency with the mental decision-making process of experienced traders. The refinement of this methodology can lead to the improvement, systematization and even semi-automation of a complex process that globally involves decision-making of more than \$10 billion per day.

To achieve a successful energy transition society needs to tackle the trilemma of energy security, affordability, and sustainability. Managing the energy trilemma is one of the greatest challenges of our time and requires step changes incountless areas, including improved optimization of the existing energy matrix and raw materials. For further work, this methodology can be applied to the decision-making process on the sales side of crude oil, to the sale and purchase of oil products and to other commodities.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

REFERENCES

- [1] S. Biswas, G. Bandyopadhyay and J. N. Mukhopadhyaya, "A multi-criteria based analytic framework for exploring the impact of Covid-19 on firm performance in emerging market," *Decision Analytics Journal*, <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2022.100143>, pp. 1-26, 11 November 2022.
- [2] P. Horsnell, "Oil Pricing Systems," *The Oxford Institute for Energy Studies*, 2000.
- [3] U. Dereci and M. E. Karabekmez, "The applications of multiple route optimization heuristics and meta-heuristic algorithms to solid waste transportation: A case study in Turkey," *Decision Analytics Journal*, <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2022.100113>, pp. 100-113, 28 August 2022.
- [4] M. Karatas and E. Yakici, "A multi-objective location analytics model for temporary emergency service center location decision in disasters," *Decision Analytics Journal*, <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2021.100004>, pp. 1-12, 6 September 2021.
- [5] C. A. N. Cosenza, F. A. Doria and L. A. M. Pessoa, "Hierarchy models for the organizational of economic spaces," *Procedia Computer Science*, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.010>, vol. 55, pp. 82-91, 2015.
- [6] L. A. M. Pessoa, M. P. E. Lins, C. A. N. Cosenza and H. G. Costa, "Comparison Between Fuzzy Methods in Location from a hypothetical Naval Base," *Research Gate*, pp. 1-13, 2014.
- [7] L. A. Zadeh and K. T. M. S. King-Sun Fu, "Fuzzy Sets and their Applications to Cognitive and Decision Processes," *CALCULUS OF FUZZY RESTRICTIONS*, pp. 1-39, 1975.
- [8] T. Ross, "Fuzzy Logic with Engineering Applications," in *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, New Mexico, Wiley, 2010.

- [9] C. A. N. Cosenza and P. R. Nascimento, "Alguns modelos empíricos de localização industrial," *Revista de Pesquisa de Planejamento Energético - EPEA*, vol. 1, 1975.
- [10] J. Brillo de Carvalho and C. A. N. Cosenza, "Methodology for Hierarchization of Competences: A Fast Decision-Making Algorithm Applied to Organizations in Brazil," *Journal of Human Resources Management and Labor Studies*, pp. 1-16, March 2014.
- [11] L. Caggiani, M. Ottomanelli and M. Dell'Orco, "Handling uncertainty in Multi Regional Input-Output models by entropy maximization and fuzzy programming," *Transportation Research: Logistics and Transportation Review*, <https://doi.org/10.1016/j.tre.2014.09.006>, vol. 71, pp. 159-172, 2014.
- [12] J. Többen, "On the simultaneous estimation of physical and monetary commodity flows," *ECONOMIC SYSTEMS RESEARCH*, <https://doi.org/10.1080/09535314.2016.1271774>, vol. 29, pp. 1-24, 2017.
- [13] H. G. Huntington, "Measuring oil supply disruptions: A historical perspective," *Energy Policy*, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.12.020>, vol. 115, pp. 426-433, April 2018.
- [14] J. D. Hamilton, "This is what happened to the oil price-macroeconomic relationship," *Journal of Monetary Economics*, [https://doi.org/10.1016/S0304-3932\(96\)01282-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3932(96)01282-2), vol. 38, pp. 215-220, 1996.
- [15] D. Ferrari, F. Ravazzolo and J. Vespignani, "Forecasting energy commodity prices: A large global dataset sparse approach, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105268>," *Energy economics*, vol. 98, pp. 1-12, 1 April 2021.
- [16] M. A. Elaziz, A. A. Ewees and Z. Alameer, "Improving Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Based on a Modified Salp Swarm Algorithm Using Genetic Algorithm to Forecast Crude Oil Price," *Natural Resources Research*, <https://doi.org/10.1007/s11053-019-09587-1>, vol. 29, p. 2671–2686, 2019.

DECISION ANALYTICS JOURNAL

A NOVEL APPROACH FOR COMPLEX AND SUBJECTIVE VARIABLE VALUATION IN THE COPPE-COSENZA FUZZY MODEL APPLIED TO CRUDE OIL TRADING

GUSTAVO B. ANDRADE²; LUCIANA B. ANDRADE²; EDISON CONDE³;

CLÁUDIO GRECCO⁴; FABIO L. P. KRYKHTINE⁵; CARLOS A. COSENZA⁶

Abstract

Numerical algorithms and mathematical methods are regularly used in the commodities and stock markets. However, this so-called quantitative trading has been thus far limited to the paper markets, such as futures, swaps, and options, and excluded a large majority of the physical market. Literature relates successful attempts to use artificial intelligence and neural networks in the physical commodity market. However, the trade of physical oil, so far, does not have a computer program that provides an unquestionable advance that goes beyond the profit margin calculation to include the more complex and partially subjective crude selection factories regularly used by traders. We propose a fuzzy novel approach to deliver a tool to improve the valuations of complex and subjective variables of a well-known hierarchical decision process (the COPPE-Cosenza fuzzy model) now applied to crude oil trade. This work shows that the proposed fuzzy model can be useful for informed decision-making, communication, and management of physical commodities trading. Three European refineries present their monthly crude oil demand in this case study. Offers are successfully evaluated according to numerical and fuzzy factors reflecting physical commodities traders' real-world decision-making process.

Keywords: fuzzy analysis; COPPE-Cosenza fuzzy model; physical commodities trading; oil market trading; hierarchical decision process.

Acknowledgment: We appreciate the financial supported provided by CAPES, funded by the Brazilian government.

^{1,3,4,5,6}COPPE/UFRJ – Federal University of Rio de Janeiro, Brazil

² Mechanical Engineer/UFRJ; Senior oil trading professional

1 Introduction

The global energy transition to lower carbon fuels is a well-known requirement to limit the impact of climate change. Europe still is extremely reliant on fossil resources both as a core primary energy source, and as input to its vast petrochemical complex that supplies the whole society. As new technology is developed and rolled out, more efficient use of fossil fuels, including carbon capture and storage, will be an important contribution to energy transition. Further, the recent crises such as the Ukrainian War and Covid-19 have also evidenced the level of the world interdependence, which shows that advances in one region can eventually benefit the society globally. For Huang, Shao & Jian [1] the conflict can be seen as an opportunity to inflate international energy prices, even though it is not clear what might happen in days ahead. Different prediction models have largely been used to identify trend movements of the crude oil. Zhang et all. [2] understand that oil price shocks can have negative impacts on global crude oil demand, resulting on reduction of the oil prices. Alangi, Bjørndal, & Bjørndal [3] observed that as Europe has an actual energetic crisis, and suggested an intraday market design on the coordinated multilateral trade approach, having independent brokers or frequent batch auctions at discrete-time intervals to make the market more compatible.

Wang, Su & Umar [4] demonstrated how oil dependence is related to its geopolitical risk and crude oil security for China. The causal relationship between geopolitical risk and crude oil security is evaluated by a mixed frequency vector autoregression, showing that China needs to diversify oil import regions. Wasim et all. [5] developed a comprehensive index of oil supply vulnerability to denote the supply disruption risk.

Clerides et all. [6] investigated link between crude oil prices, retail gasoline prices in Europe after the last global financial crises, caused by the pandemic. Their results reveal that consumer sentiment, and its key components deteriorate notably as a response to positive shocks to real gasoline prices at the pump. On the contrary, positive oil-specific demand shocks do not trigger such a strong deterioration of consumer mood.

Biswas and Bandyopadhyay [7] combined multi-criteria decision making (MCDM) framework of logarithmic percentage-change driven objective weighting (LOPCOW) and evaluation based on distance from average solution (EDAS) method to enfold the early impact of COVID-19 on firm performance from fast moving consumer goods and consumer durables sectors in emerging market.

For Li et all. [8] uses multiple uncertainty indicators to forecast monthly WTI crude oil volatility and compare the predictive performance of combination forecast methods. They showed that U.S. petroleum market equity market volatility tracker index (PMEMV) statistically has the best short-term predictive power for the volatility of crude oil market, especially during low volatility, non-crisis and economic expansion periods. However, the geopolitical risk index (GPR) performs better in predicting long-term crude oil volatility than other uncertainty indicators, and it also performs better than other uncertainty indicators in forecasting short-term high volatility of crude oil market.

Wang et all. [9] discussed the financial risks related to the transportation and political threats of the exporter countries. Two-stage stochastic programming models are proposed to illustrate the problem, and a numerical test is conducted to better understand the effects of physical risks.

Based on the oil imported values data of 34 major oil-importing countries from January 2005 to June 2017, Du et all. [10] calculated the cross-correlation functions of time lags and constructed a sequence of time-evolving oil import correlation networks according to the similarities between countries. They showed that probability distribution of time lag effect is not sensitive to positive correlations, but for negative correlations. There is a longer time-lag effect in the years when positive correlations are stronger. So, there is a longer time-lag effect in the years when positive correlations are stronger.

Based on the proposed synchronous movement intensity index, Yu et all. [11] tried to improve the hedging performance by adjusting the model-driven hedge ratio and realized the trade-off between return and risk in futures hedging. The study seems to provides a more realistic approach for crude oil risk managers to hedge crude oil price risk, and some corresponding implications are determined.

Yu et all. [12] studied the risks involved in maintenance of oil and gas transmission. Considering that decision-makers prefer uncertainty-informed risk data rather than unreliable “precise” risk values, the authors provided a new insight to deal with risk assessment of the onshore pipeline maintenance process under uncertainty, based on analytic hierarchical process and expert knowledge.

Demirer et all. [13] understand that global geopolitical risks can predict oil market return and volatility. For their purpose, they use a k-th order non-parametric causality-in-quantile test, applied to a daily data set covering the period of 15 May 1996 to 31 May 2018 of six oil benchmarks. They concluded that the impact of global geopolitical risks is primarily on volatility of oil markets, but more importantly, the impact is not uniform

across the oil markets. According to Bouoiyour et all. [14] not all geopolitical risks can be seen as acts or threats to the oil and gas market. The study characterizes the oil market as a nonlinear-switching phenomenon and examines its dynamics in response to changes in geopolitical risks over low- and high-risk scenarios. Sun, Hao & Li [15] introduced a decomposition hybrid interval prediction method and proposed a multi-objective programming model in order to provide decision-making support for the formulation of crude oil-supply portfolio scheme. Their results show mainly that decomposition hybrid prediction methods perform better than single prediction methods.

Bekiros et all [16] worked on the predictability of crude oil market using a hybrid multi-scale wavelet approach. The empirical results show that the forecast that is based on volatilities outperforms the random walk forecast, relative to the wavelet forecast that is based on returns.

Khan et all. [17] examined how crude oil price volatility affected the stock returns of major global oil and gas corporations during three major oil-price wars that took place between October 1991 and June 2020. The persistence of volatility in oil prices during times of specific oil-price wars is captured through a generalized autoregressive model.

Joo and Park [18] examined the effects of oil price volatility on stock markets. The results show that increasing oil price volatility has a negative effect on stock returns when both oil price volatility and stock returns are low. Based on a global multi-regional input–output model, Zhang, Wei & Peng [19] examined crude oil embodied in China's trade during 1995–2011. The results show that approximately one fifth to one third of imported oil in China is re-exported through producing commodities and services for satisfying final consumption outside China. They also show that China is playing a role as a transit hub of crude oil from extraction locations to global consumers, particularly those in advanced countries. According to the statistics from the BP (British Petroleum) energy review, China overtook Japan to become the world's second largest oil consumer in 2002, and it also became the second largest oil importer in 2009, which aroused concern over China's energy security. Yuan et all. [20] also using BP data claimed that disruptions in the international oil supply can create heavy pressures on the downstream oil market for oil-importing countries, especially China, whose high dependency on imported oil makes its downstream oil supply security an urgent issue. So, policy makers should pay more attention to curbing China's consumption-based demand for crude oil through encouraging sustainable consumption and new investment on these activities.

Berk and Çam [21] analysed the recent developments in the global oil market, investigating how the 2014–2016 price collapsed, and the following OPEC agreement affected the crude oil market structure suppliers. This study was important to understand that the Saudi Arabia and Russia, at that time, maintained a partial equilibrium for the oil production. Vasiljeva et all. [22] wrote an article to demonstrate the factors by which the oil industry influences the sustainable development of OPEC-participating countries under conditions of uncertainty. The impact of the price parameters of the world oil market and the tools of its regulation on the sustainability was assessed using panel regression analysis. Wang et all. [23] used the price fluctuations in the crude oil market over the time series of 32-year, converting a corresponding single spot and futures price network. They found that when the crude oil market suffers from financial shock, stable price market is broken and reaches a collapse critical state. Wen et all. [24] proposed two enhanced moving average technical indicators to forecast crude oil market returns.

Youssef and Mokni [25] investigated the role of the oil market in deriving the dynamic linkage between stock markets of oil-exporting and oil-importing countries. They primarily observed that oil-stock markets' relationship and that between oil-importing and oil-exporting countries' stock markets is time-varying. Moreover, they noted that the response of stock market returns to oil price changes in oil-importing countries changes is more pronounced than for oil-exporting countries during periods of turmoil.

Kaviani et all. [26] proposed an integrated grey-based multi-criteria decision-making approach for supplier evaluation and selection in the oil and gas industry applying real-world data provided companies with an approach to finding the best/optimal suppliers in the industry. The results of the study provide the suppliers with medium to low performances with benchmark supplier to improve their operational practices and enhance the overall performances.

Based on the data on fossil energy trade in 2020, Zheng et all. [27] simulated the impact of sanctions on national trade and global fossil energy trade patterns based on complex network theory and cascading failure model, proposing that to mitigate the impact of sanctions, Russia may shift its fossil-energy export focus to China and other Asian countries. Finally, Wang et all [28] went through a comprehensively investigation on the causality between the crude oil futures market and investor sentiment under extreme shocks. By dividing the data into various pairs of extreme positive, extreme

negative and normal shocks, they introduced an extended Granger causality approach in the time and frequency studied domains.

Recently, Oxford Institute for Energy Studies (2000) described how oil has been priced in the world market, a procedure that remains the same for more than thirteen years. However, the pattern of world trade oil flow has changed. The authors stated that Asian import of oil has risen sharply, while European one is being lowered, due to the increase in North Sea production. Additionally, West African crude oil production occupies a pivotal geopolitics position, and swings in the course of time into all three main oil consuming regions, according to market conditions.

Brazil has significantly decreased its external dependence on oil import with the recent raise of internal production. The rich deep-water offshore reserves, located in Campos and Santos shores, have already put the country among the largest world producers, results that 90% of domestic consumption is extracted from Brazilian fields. Compared to other countries, Brazilian energy matrix is well supplied of renewable sources such as hydroelectric power plants and liquid biofuels.

Refinery scheduling attracts increasing concerns in both academic and industrial communities in recent years. Gao et all. [30] proposed a way to exploit the prior knowledge existing in refineries and developed a decision-making system to guide the scheduling refinery process.

To meet a demand of nearly 90 million barrels per day, around US\$10 billion of oil is traded daily. Efficiency improvement with the potential for rollouts at scale can therefore have material economic and energy transition impacts. In a way to assist efficiency in locating and distribute the best service, Dereci and Karabekmez [31] tried to find routes that give the minimum distance for waste collection in Istanbul district. Karatas and Yakici [32] performed a multi-objective facility location using analytics model for determining the number and locations of temporary emergency service centers for a regional natural gas distribution company in Turkey. The solution approach provides decision-makers with a set of Pareto optimal solutions and a unique compromise solution for all objectives incorporated in the decision analytics model.

2 Fuzzy analysis applied to oil trade.

This work presents a novel analysis of the physical oil market, applying a fuzzy method as a decision-making tool on crude oil supply options for a refinery, using COPPE-Cosenza model [33]. The model showed at Pessoa et all. [34] is applied to a

hypothetical case into simultaneous projects at different situations, including new alternatives, which can allow better results during the localization study as well as the analysis for decision-making. The studied cases here appear to prove that the fuzzy model is a useful tool for a more comprehensive and consistent evaluation of trading of physical commodities, handling suitable matrixes, shaped from linguistic variables. The obtained results are consistent with the current selection method, based primarily on individual judgment of trading specialists.

Mathematical methods and algorithms are widely currently used in the stock market and commodity market derivatives. Literature shows attempts to use artificial intelligence and neural networks on the analysis of physical commodity market, but essentially crude oil trade does not have a recognized computer program that represents an undisputed advance in the subjective way of evaluating oil purchasing options beyond a profit margin ranking. Aung, Mikhaylov & Aung [35] provided an overview of the methods of artificial intelligence - artificial neural networks and support vector machine, as well as the main areas of their application in the oil and gas sector. The so-called crude pecking order limits itself to ranking crude buying options according to their expected profit margin given a certain price. It does not consider other fuzzy crucial factors in crude selection, which together with the profit margin determine what option is ultimately purchased.

Our understanding of most decision process applied to trade of commodities is largely based on imprecise human understanding. Being aware of this existing imprecision is useful for business. The ability to place such approach was in the past an intractable and complex problem, but this is the criterion through which the fuzzy logic efficacy is judged.

Zadeh et all. (1975) showed that fuzzy logic can be understood as an attempt to accommodate the nebulous real world with the inaccuracy of human cognition. Ross [37] states that the technique involves concepts clearly defined through numerical boundaries related to linguistic statements to express subjective ideas which have different interpretations for different individuals. Natural language is sometimes incomprehensible, because it involves complex linguistic feelings, and employs vague and imprecise terms. For this reason, fuzzy logic as well as neural networks and artificial intelligence have been used as an effort to work with systems that involve diffuse and personal criteria, such as engineering, architecture, and decision-making in different areas of business.

Das, Sahu & Janghel [38] used oil and gold price prediction using optimized fuzzy inference system based extreme learning machine. The results suggested that the proposed predictive model can be a promising technique. Omair et all. [39] also worked with the development of a decision support framework for the prioritization of suppliers on sustainability factors. The framework is based on the combined approach of the analytical hierarchical process (AHP) and the fuzzy inference system (FIS) to evaluate the supplier for the benefit of the manufacturer.

Coppe-Cosenza model [40] was originally designed to support decision-makers in the task of choose sites for industrial facility construction. It uses three different steps: the first one tries to find the best locations; the second aims to indicate the best industrial facility for a defined location; the third guides the planners through the course of evaluating the project building at different sites. Although literature contains some fuzzy models for location choice, Coppe-Cosenza model provides a flexible framework to evaluate project options, and above all incorporates veto decisions.

Brillo and Cosenza [41] also described a decision-making tool to locate an industrial activity at appointed regions. The authors emphasize that the method is not restricted to that application, being useful whenever one wishes to create a ranking of factors in a multi-criterion proceeding, at any type of supply and demand relationship.

Caggiani, Ottomanelli & Dell'Orco, (2014) estimated trade activities, such as the cargo transportation, under different economic conjunctures based on entropy maximization, applying a fuzzy analysis. The results showed a good estimation under different scenarios. Többen (2017) studied the composition and prices of commodities, using a model of simultaneous approximation, and obtained a well-consistent price estimation. Huntington [44] and Hamilton [45] pointed out that the prices of commodities, such as oil and gas, have a strong connection with the occurrence of natural events, as well as with far-reaching global crises. These events can change the equilibrium of supply and demand. More recently, Ferrari, Francesco & Vespignani (2021) tried to predict the price of energy, comparing different numerical models. They used data from International Monetary Fund and World Bank. The results came out acceptable considering that the price forecast was precise. Elaziz, Ewees & Alameer (2019) also developed a prediction model for crude oil price, using a fuzzy inference system from neural networks, based on Takagi-Sugeno inference. The results showed a good ability to predict oil price fluctuations.

3 Oil market trade

Crude oil has the biggest volume among the world traded commodity, carrying out approximately per day transactions of 90 million barrels. Although oil is a commodity of enormous liquidity, market is very susceptible to changes such as political environment, weather conditions and to an obvious equilibrium of supply and demand. This high liquidity is not so effectual, since it depends on suitable quality of the offered product, logistics form of transport, and delivery times.

Each oil extraction field has a specific logistics capability, related with built infrastructure to exploit it. Some have access to marine logistics, making possible transportation by ship which connect their production straight forwardly to international market, making it more liquid. In some regions, such as the province of Alberta in Canada, fields are inland, with insufficient pipelines connections. In this way, part of the production needs to be drained by train or truck, expensive and less efficient options, worsening the oil value at the origin.

According to Stojanovic and Ivetic [48] international organizations and associations have developed several useful indicators for assessing and benchmarking national transport and logistics (TL) systems. These international sales contracts usually are abbreviated to Incoterms rules. Such rules reflect the business-to-business practice in contracts for the sale of goods. Commonly the Incoterms rules imply subcontracting in logistics involving one or both sales contract sides that can lead to complex logistics networking. *Free on Board* (FOB) is a delivery category through which buyers receive the product and take all costs and risks at the point the oil leaves the source terminal pipeline and enters the ship. *Delivered at Terminal* (DAT) is understood as a kind of deliverance where the buyers receive the product, taking all costs and risks, precisely at the point the oil leaves the carriership and enters the buyer's pipeline at the reception terminal. On the other hand, it is understood as a *Tank Delivery* that one in which the supplier pumps the product from an adjacent terminal directly to the buyer's tank. The buyer takes all costs and risks at the point the product enters his tanks.

Each refinery has a specific list of usable qualities of processable raw oils. Only these well-known qualities can be purchased, which decreases the range of reasoned proposals. Each crude oil has its own quality or character, as DNA, a fingerprint capable to determine the production profile. This set of variables determines how attractive is a

given crude oil offer, under economic point of view, condition expressed by the profit margin.

Typically, this calculation is performed by a computer program, using linear programming. Within a usual refinery planning process, computer generates a report called *Pecking Order*, which lists margins for different qualities and prices of the available oil. The profit margin or refining margin (RM), through a simple calculation, can be obtained as follows:

$$RM_i = (\sum_{j=1}^n p_j \times y_j) - p_i - c_i \quad (1)$$

where RM_i is the unit profit margin or unit refining margin of the crude oil i; $\sum_{j=1}^n p_j \times y_j$ is the sum of the product of unit sale prices of the derivative product (p_j) times the yield production fraction of the derivative (y_j), p_i is the delivered unit purchase price of a quality crude oil i and c_i is the total unit cost of processing the crude oil of quality i.

This numerical method, although widely used, does not consider a great number of relevant qualitative factors, often critical on the final purchasing decision. To select an option drives the purchaser to deal with nebulous and vague variables, which ever consumes time, and uses costly human resources. Each decision to buy a specific cargo, generally occurs each ever week, and involves hundreds of millions of dollars, which can make a good choice to create a profit margin tens of millions of dollars greater than a bad one. The competitiveness of a refinery depends on several factors, but the process of planning the operation, which includes the decision to purchase the crude oil, is crucial in the final formation of the profit margin, which can determine the success and the survival of the refinery in an aggressive market. This is so true, that the decommissioning of non-competitive refinery is a very frequent procedure.

To deal with some of these vague variables, Cosenza et all [33] employed an algorithm based on Fuzzy Logic, particularly designed to enables an administrator to formulate public policies, intended for industrial location. To do so, the authors developed an adequate set of matrix operators quite related to empirical reality.

4 Methodology

This study adapts the COPPE-Cosenza model to the crude oil selection process for refineries. This is the first step in a potential future improvement and even semi-automation of crude selection, with the objective increasing profit margins and feasibility

of refineries. The description of the adapted COPPE-Cosenza model is presented here, using the expertise of a professional oil trader. The resultant model evaluates features of a set of supply offers including the expected profit margin of that offer, as well as fuzzy factors, for the final decision-making. To meet a specific demand of a refinery in Europe, the methodology consists in putting side by side the industrial demand with the supply proposal, relating aspects as cost, logistics, supply risks, business relationship and others.

It is established that the fuzzy set of \tilde{D} of ordered pairs, where $\tilde{D} = \{f_i, \mu_{\tilde{D}}(f_i) | f_i \in F\}$, the demand matrix \tilde{D} and $\mu_{\tilde{D}}(f_i) \in [0, 1]$, i.e., the set of the attributed significances of each factor i , between 0 and 1, which represents the degree of pertinence of each factor i , in the domain of D , assigned by the specialist, using linguistic variables, as established: *Critical*, if the existence of the factor at high levels is indispensable for the attractiveness of supply; *Conditional*, if the existence of the factor at significant levels is desirable for the attractiveness of supply; *Little conditional*, if the existence of the factor is not determinant for the attractiveness of the offer, but may indicate favorable conditions of convenience or competitiveness; and *Irrelevant*, if the factor does not significantly impact the attractiveness of the offer. To convert linguistic variables into degrees of pertinence, we have: *Irrelevant* equal to 0.2; *Little conditional* equal to 0.5; *Conditional* equal to 0.8 and *Critical* equal to 1.

Similarly, for the supply matrix, one has $\tilde{O} = \{f_i, \mu_{\tilde{O}}(f_i) | f_i \in F\}$, where \tilde{O} is the fuzzy notation of the supply matrix, and $\mu_{\tilde{O}}(f_i) \in [0, 1]$ represents the set of pertinence degree of each factor, in the considered supply location. Relating linguistic variable with the degree of pertinence, you have: *Weak* equal to 0.2; *Regular* equal to 0.5; *Good* equal to 0.8 and *Excellent* equal to 1. Operating the two matrices, one can perform the correlation between demand and supply for each factor. This operation is expressed by $D_{hi} \otimes O_{ij} = C_{hj}$, where \otimes is the symbol of operator and C_{hj} represents the supply level satisfaction of the logistics option h , related to factor i . Then, it is established that

$$C_{hj} = 1 + [\mu_{\tilde{O}}(f_i) - \mu_{\tilde{D}}(f_i)] \quad (2)$$

If $\mu_{\tilde{O}}(f_i) = \mu_{\tilde{D}}(f_i)$, then $C_{hj} = 1$, which means, the option delivers a *Sufficient* level of service. If $\mu_{\tilde{O}}(f_i) < \mu_{\tilde{D}}(f_i)$ then the logistic option j does not satisfy the demand within the required level. Therefore, the supply level is *Insufficient*. But if $\mu_{\tilde{O}}(f_i) > \mu_{\tilde{D}}(f_i)$, then $C_{hj} > 1$, so the logistic option satisfies far above the need h . In this case, supply level is considered *Superior*, relative to demand. In the matrix C_{hj} , so called *collating* matrix, the maximum C_{hj} value in each column, indicates the best form of logistic supply, related

to that column. On the other hand, the maximum value of C_{hj} , on a given line, indicates the best option of supply, related to that line. Finally, one can aggregate the demand by all factors, as well as the supply by all factors, obtaining the *supply options indices*, which reflect the result of the analysis. These indexes are the elements of δ_{hj} 1 from the matrix Δ_{pxm} , determined as follows:

$$\delta_{hj} = \frac{[\text{sum of all } \mu_\theta(f_i) \text{ referred to the supply option } j]}{[\text{sum of all } \mu_{\tilde{\theta}}(f_i) \text{ referred to the logistic option } h]} \quad (3)$$

For the sum, the following rules were settled: (a) the sum of all degrees of pertinence related to *irrelevant* factors shall be less than or equal to the degree of pertinence referring to a *little conditional* factor; (b) the sum of all degrees of pertinence related to the *little conditional* factors shall be less than or equal to the degree of pertinence referring to a *conditional* factor. The acquiescence to these rules allows any factor influences the analysis, but only factors of greater impact be considered in the final options. Thus, it is guaranteed that the options will be primarily weighed according to their *critical* and *conditional* demands. Likewise, as previously described in C_{hj} test, δ_{hj} can be greater, equal to or less than 1. Subjectively, at this point, it is established that values greater than 1 indicate *very competitive offers*; between 0.9 and 1 indicate *attractive offers*, while obtained values below 0.9 denote *unattractive offers*, and thus must not be considered, provided that some additional restraint does not appear. Using the proposed methodology, the selected option will not necessarily be the one which displays the higher profit margin, even an option with *excellent* profit margin, a factor considered *critical*. In the same way, a *weak* supply option, which is *critical* or *conditional*, has a tendency not to belong to the set of *very competitive* offers, and therefore must not have good chance to be selected.

5 Model development

The most important contribution of this study is the adaption of the COPPE-Cosenza model to the ranking and decision-making process of the physical commodities. While the attribute fuzzy values is this exercise come from a knowledgeable trading professional and are related to actual factors and potential evaluations, they are fictitious and have the sole purpose of illustrating the practical application of the methodology. In real situations, different professionals may qualify the factors dissimilarly. The simple transparency of the factor attributions and ranking results can drive high quality discussions of that

evaluation. The factor attribution and ranking discussions further help improve the decision-making activity, as well as the internal understanding of those decisions. That can drive team development and supports management of the business.

To settle the demand matrix, linguistic variables are attributed to each factor, as shown in Table 1. The qualification of demand factors is established accordingly to trader expertise and company policy, as shown in Table 2. The refining margin is a given data, for each case. The grades of factors for supply matrix are defined in Table 3. The absence of some factors observed on Table 2 or 3 are a result of the geopolitical condition of the suppliers.

Table 1: Linguistic variable attributed for **demand** matrix factors

	LOGISTICS OPTIONS			
Factors	3 FOB (Free on board)	3 DAT (Delivered at terminal)	1 FOB (Free on board)	Tank Delivery
Refining margin depending on final price delivered and quality (\$ per barrel)	Critical	Critical	Critical	Critical
Payment Deadline	Conditional	Little Conditional	Conditional	Little Conditional
Delivery Date (+ or - days in relation to the ideal date)	Conditional	Conditional	Critical	Conditional
Relationship with supplier	Little Conditional	Little Conditional	Little Conditional	Little Conditional
Pre-registration in the payment system	Conditional	Conditional	Conditional	Conditional
Compatibility of class and size at loading and unloading ports	Conditional	Conditional	Critical	Irrelevant
Terminal safety procedures in matching buyer's procedures	Conditional	Conditional	Conditional	Conditional

Delivery performance history (number of issues in the last 3 years)	Little Conditional	Conditional	Little Conditional	Conditional
Risk of interruptions at port of charge	Conditional	Little Conditional	Conditional	Irrelevant
Risk of epidemic cases (e.g., Covid) over ship staff	Little Conditional	Little Conditional	Little Conditional	Irrelevant
Conformity of contract terms	Little Conditional	Little Conditional	Little Conditional	Little Conditional
Availability of suitable vessels in the open freight market	Conditional	Irrelevant		Irrelevant
Space availability in tank-to-tank connection	Irrelevant	Irrelevant	Irrelevant	Critical
Pre-approval of the cargo port	Conditional	Conditional	Conditional	Irrelevant

Table 2

Qualification of the **demand** factors

Factors	Excellent	Good	Regular	Weak
Refining margin depending on the final price delivered and quality (\$ per barrel)	More than +\$10	Between \$8-\$10	Between \$4- 8	Less than \$4
Payment Term	More than 30 days	Between 15 to 30 days	Between 3- 15 days	Less than 3 days
Delivery date (\pm days from the ideal date)	1	3	4	More than 4
Relationship with supplier	Excellent	Good	Regular	Weak
Pre-registration in the payment system	complete and automated	Complete but not automated	Partial	Not observed
Security History (number of security events in the last 3 years)	0	1	2	More than 2

Cargo terminal security procedures, aligned with buyer	Meets international and purchasing company standards	Meets international standards, but partially for purchasing company	-	Does not meet international or purchasing company standards
Delivery performance history (number of issues in the last 3 years)	0	1	2	More than 2
Risk of interruptions at the cargo port	Very low	Low	Medium	High
Risk of COVID cases in ship personnel (at time of filing)	Very low	Low	Medium	High
Alignment of contract terms	Pre-existence of aligned standard contracts	Strong history of contracts between parties, but no pre-agreed standards	Poor history of contracts between companies	History of contract terms issues in the last 3 years
Time zone difference between buyer and seller	-	Up to 3 hours	Up to 3 to 6 hours	More than 6 hours
Availability of adequate transport	Good liquidity and good availability	Medium liquidity and good availability	Medium liquidity and medium availability	Poor liquidity or availability
Pre-approval of the loading port	Approved	Approved with minor restrictions	Approved with important restrictions	Not approved

Table 3: Grades of factors for supply matrix

Offers	R efining margin	P ayment Deadline	D elivery Date	R elationship with supply	P re-registration in the payment system	C ompatibility of standard and size of ships in loading and unloading ports	S afety procedures in the cargo terminal aligned with the buyer
Saudi Aramco - Saudi Arabia	Excellent	Excellent	Good	Regular	Good	Good	Good
Petrobras - Campos Basin	Weak	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
Gazprom - Russia	Good	Regular	Regular	Weak	Good	Weak	Regular
Esso - Iraq	Good	Regular	Regular	Good	Excellent	Weak	Excellent
BP - Gulf of Mexico	Good	Regular	Good	Good	Excellent	Excellent	Excellent
Shell - North Sea	Good	Regular	Good	Good	Good	Good	Good
Vitol	Excellent	Regular	Good	Regular	Excellent	Good	Good
Glencore	Good	Regular	Regular	Regular	Excellent	Good	Good
Total - Lavera	Good	Good	Excellent	Excellent	Excellent	Weak	Excellent

Cont.Table3: Grades of factors for the supply matrix

Offers	D elivery performan ce history (last three years)	R isk of interruptions in the port of charge	R isk of epidemy cases (e.g. Covid)	A lignment of contract terms	A vailability of suitable vessels in the open freight market	S pace availabilit y in tank- to-tank connection	P re- approval of the cargo port
Saudi Aramco - Saudi Arabia	R egular	R egular	C ood	R egular	G ood	W eak	G ood
Petrobras - Campos Basin	R egular	W eak	V eak	R egular	R egular	W eak	R egular
Gazprom - Russia	R egular	R egular	V eak	W eak	G ood	W eak	R egular
Esso - Iraq	R egular	W eak	R egular	G ood	G ood	W eak	W eak
BP - Gulf of Mexico	G ood	E xcellent	R egular	E xcellent	R egular	W eak	E xcellent
Shell - North Sea	R egular	E xcellent	C ood	G ood	G ood	W eak	E xcellent
Vitol	R egular	G ood	C ood	R egular	E xcellent	W eak	E xcellent
Glencore	R egular	G ood	C ood	R egular	E xcellent	W eak	E xcellent
Total - Lavera	E xcellent	W eak	C ood	G ood	W eak	E xcellent	E xcellent

6 Model's validation and analysis of the results

An important part of validation of a fuzzy hierarchical model is to correlate the outputs with the expert expectancies. different oil refineries in Europe, under their strict requirements. Figure 1 displays the spots of supply and demand referred, in the exercises. Depending on the selection, a suitable logistic solution will come out, reflecting all the defined factors in the business. This exercise uses a hierarchical fuzzy method to meet supply demands of three.

a. Lavera Refinery

The Petroineos Lavera Refinery is situated on the Mediterranean coast, close to Marseille. Lavera is the largest oil industrial plant in Southern Europe, with the capacity to process 210,000 barrels per day. In this hypothetical case, close to real, is assumed that Lavera needs to place an order of 350,000 tons of crude oil, delivered at the port at a given

time. Supply and negotiation teams see different options in the market, that can satisfy business need. Oil can be delivered over four different logistics options.

In the first supply logistic option, here called 3 FOB, volume is delivered at origin port, using 3 loads of 150,000 tons each, at spaced dates. In the 2nd option, here called 3 DAT, cargo is delivered at destination port, using 3 loads of 150,000 tons each, also at spaced dates. The 3rd option, here called 1 FOB, delivers the total volume at the port of origin, using just 1 cargo of 450,000 tons. In the 4th option, the total volume is transported by pipes, from adjacent tanks, using 4 pumping operations, on spaced dates. In this exercise, it is considered that only Total has conditions to pump directly to the tank of the buyer's refinery. Each offer is related to a final cost of the delivered product, including all logistics costs. The profit margin is calculated by the specialist and is considered a critical factor for all purchase options, as shown in Table 4. Note that in cases where a specific supply logistics option is not available by a certain supply player, that case is shown as non-applicable, or N/A

Table 4: Lavera's refining margin of per offer (US\$ per barrel)

Supply options	3 FOB (Free on board)	3 DAT (Delivered at terminal)	1 FOB (Free on board)	Tank Delivery
Saudi Aramco - Saudi Arabia	10,20	10,50	10,60	N/A
Petrobras – Campos Basin	3,00	N/A	3,50	N/A
Gazprom - Russia	8,50	N/A	9,00	N/A
Esso - Iraq	8,10	8,50	8,80	N/A
BP - Gulf of Mexico	9,00	9,70	9,50	N/A
Shell - North Sea	9,50	9,60	9,80	N/A
Vitol	N/A	10,20	N/A	N/A
Glencore	N/A	9,70	N/A	N/A
Total	N/A	N/A	N/A	8,20

Table 5 shows the resulting supply options indices, which aggregate the demand by all factors, as well as the supply by all factors, and are the elements of δ_{hj} , from the matrix Δ_{pxm} , as described in the methodology, where p represents the demand factors of the demand matrix and m represents different supply options for the supply matrix.

These supply options indices show the result of this more comprehensive analysis, then a simple ranking by refining unit profit margin. The supply options indices better reflect the decision-making process carried out by supply traders in the market.

According to the results showed in Table 5, the best trade to Lavera's claim is offered by Saudi Aramco, using 3 ships FOB. As said before, correlating the model outputs with the expert's expectation, Mediterranean refineries are often supplied by Middle East, beside the fact of three loads having lower risk than the load delivered by one single ship. Besides of that, Saudi Aramco tends to be more competitive on FOB offers. Very close to this option is the offer of 3 ships DAT from BP, company's preferred method, which optimizes its available oil sources and ongoing freight contracts. Likewise, Shell can offer 3 ships FOB or DAT, that as well appear to be very competitive, considering that Shell has large volumes of crude oil in North Sea but also aboard oil tankers on the sea, which can be diverted and delivered at requested ports.

The state-owned Petrobras reaches low scores in this analysis. A key point is that approximately 90% of the oil produced in Brazil provide the national refineries, and Brazilian refineries are well suited to the qualities of this crude. Oil fields are along Brazilian shore, which makes the product less competitive to be transported to the Mediterranean Sea.

Table 5 Lavera - matrix of supply indices

Procurement Options	3 FOB (Free on board)	3 DAT (Delivered at terminal)	1 FOB (Free on board)	Delivery in tank
Saudi Aramco - Saudi Arabia	1,08	0,935	0,919	N/A
Petrobras - Campos Basin	0,55	N/A	0,45	N/A
Gazprom - Russia	0,69	N/A	0,61	N/A
Esso - Iraq	0,62	0,45	0,53	N/A
BP - Gulf of Mexico	0,99	1,06	0,85	N/A
Shell - North Sea	1,01	1,00	0,86	N/A
Vitol	N/A	0,97	N/A	N/A
Glencore	N/A	0,84	N/A	N/A
Total - Lavera	N/A	N/A	N/A	0,77

Although Gazprom's offer has a good refining margin, it obtained very low scores because of the *weak* and *regular* grades attributed in the offer matrix, such as *poor* compliance with current regulations and contracts, as well as the lousy relationship with the buyer. Pumping option (Delivery in tank), although very convenient and safe from a logistical point of view, has higher local costs, and therefore tends to only be used at

emergencies, such as load delivery delays caused by natural catastrophes, accidents capable to block Suez Canal, or emerging epidemic on ship's crew.

b. Pernis Shell Refinery, Netherlands

Shell Nederland Refinery operates Pernis refinery in South Holland. It is an integrated refinery owned by Shell, which started operating in 1902, and today can process 444 million barrels per day of crude oil. Considering the geographic location of Pernis refinery in Rotterdam, within the most liquid oil trading area in Northwestern Europe, the area comprised of the ports around Amsterdam, Rotterdam and Antwerp, known as ARA.

In the hypothetical example, as shown in Table 6, Shell offers the highest refining profit margin for all its available delivery options, namely 3 FOB, 3 DAT, 1 FOB. After Shell, Glencore, Total and Vitol offer the highest margins through 3 DAT delivers. As in Lavera, the in-tank deliver is an expensive option showing a lower profit margin, though it scores highly in other areas such as relationship.

Table 6. Refining margins for Pernis

Supply alternatives	3 FOB (Free on board)	3 DAT (Delivered at terminal)	1 FOB (Free on board)	Delivered in tank
Petrobras - Campos Basin	3,50	N/A	3,50	N/A
Esso - Pernis	N/A	N/A	N/A	5,00
BP - Gulf of Mexico	7,00	7,50	8,00	N/A
Shell - North Sea	11,00	12,00	12,00	N/A
Vitol	N/A	10,20	N/A	N/A
Glencore	N/A	11,00	N/A	N/A
Total - Lavera	N/A	10,50	N/A	N/A

Table 7 shows the resulting supply options indices, which aggregate the demand by all factors, as well as the supply by all factors, and are the elements of δ_{hj} , from the matrix Δ_{pxm} , as described in the methodology. These supply options indices show the result of this more comprehensive analysis, then a simple ranking by refining unit profit margin. The supply options indices better reflect the decision-making practice carried out by supply traders in the market.

Table 7: Pernis - Δ matrix of supply indices

Procurement Options	3 FOB (Free on board)	3 DAT (Delivered at terminal)	1 FOB (Free on board)	In-tank delivery
Saudi Aramco - Saudi Arabia	0.66	0.43	0.44	N/A
Petrobras - Campos Basin	0.50	N/A	0.32	N/A
Gazprom - Russia	0.58	0.34	0.40	N/A
Esso - Iraq	N/A	N/A	N/A	0.58
BP - Gulf of Mexico	0.76	0.61	N/A	N/A
Shell - North Sea	1.13	0.83	0.76	N/A
Vitol	N/A	0.74	N/A	N/A
Glencore	N/A	0.78	N/A	N/A
Total	1.08	0.78	0.75	N/A

c. Petroineos Refinery in Grangemouth, Scotland

Again, the method was applied to fulfil the same amount of required crude oil for Petroineos's refinery in Grangemouth, Scotland. This refinery has a direct pipeline link to one of the largest oil field in the world, where the benchmark price for Brent oil is established, for the whole marked. Although this refinery is supplied by a dedicated pipeline, similar alternatives of deliver were considered, as it was in the cases above. The main difference for supplying Grangemouth refinery is that only Shell, Vitol, Glencore and Total have access to the North Sea pipeline, directly connected to Grangemouth and shown in the in-tank delivery option. In this case, the refining margin is also a data of the exercise, shown in Table 7, and not a judgment of the specialist. The other offer matrix factors were determined according to the same criteria by the expert's judgment.

Table 8 shows the resulting supply options indices, which aggregate the demand by all factors, as well as the supply by all factors, and are the elements of δ_{hj} , from the matrix Δ_{pxm} , as described in the methodology. These supply options indices show the result of this more comprehensive analysis, then a simple ranking by refining unit profit margin. The supply options indices better reflect the decision-making process carried out by supply traders in the market.

Table 8: Grangemouth - Refining margin per offer (US\$ per barrel)

Supply alternatives	3 FOB (Free on board)	3 DAT (Delivered at terminal)	1 FOB (Free on board)	Tank delivery
Saudi Aramco –Saudi Arabia	4,20	5,30	4,70	N/A
Petrobras –Campos Basin	3,70	N/A	3,90	N/A
Gazprom –Russia	8,50	N/A	9,00	N/A
Esso – Iraq	4,80	4,50	5,00	N/A
BP – Gulf of Mexico	5,50	5,80	6,50	N/A
Shell –North Sea	N/A	N/A	N/A	13,00
Vitol	N/A	N/A	N/A	12,00
Glencore	N/A	N/A	N/A	11,00
Total - Lavera	N/A	N/A	N/A	11,50

Table 9: Grangemouth - Δ matrix of supply indices

Procurement Options	3 FOB (Free on board)	3 DAT (Delivered at terminal)	1 FOB (Free on board)	In-tank delivery
Saudi Aramco - Saudi Arabia	0.52	0.500	0.486	N/A
Petrobras - Campos Basin	0.41	N/A	0.36	N/A
Gazprom - Russia	0.48	N/A	0.49	N/A
Esso - Iraq	0.66	0.50	0.53	N/A
BP - Gulf of Mexico	0.72	0.60	0.61	N/A
Shell - North Sea	N/A	N/A	N/A	0.81
Vitol	N/A	N/A	N/A	0.68
Glencore	N/A	N/A	N/A	0.68
Total	N/A	N/A	N/A	0.81

7 Conclusion

This study has developed a novel methodology for ranking physical commodities options. The methodology was applied to three cases, where crude oil demand is given for a refinery and market supply options are assessed through a mix of numerical, fuzzy, and subjective factors. In the current refinery planning and trading practices, crudes are typically ranked according purely to feasibility and expected refining profit margin. This methodology is thus an improvement on current practices, since it incorporates to the formal crude ranking assessment complex non-numerical considerations which are usually not well documented or communicated internally and are subject to unconscious bias.

Going further, while derivatives trading is now largely done through computer programming, physical commodities trading still relies mostly on the work and expertise of traders. This methodology can both enhance the traders' decision-making process and communication, as well as in the future become a tool for semi-automation of physical oil trading.

For a practical implementation of this methodology, a refinement in the final ranking can be to tackle a mix of fuzzy and non-fuzzy logic for decision making. For this purpose, the numerical refining margins are recommended to be shown explicitly alongside the fuzzy evaluation, as the final decision will never be taken purely through an unconditional fuzzy method. However, the addition of fuzzy evaluation might accelerate and improve the choice, resulting in optimization of the supply series of actions.

The case study above shows that this novel methodology, which is originally based on the Coppe-Cosenza model leads to results with high consistency with the mental decision-making process of experienced traders. The refinement of this methodology can lead to the improvement, systematization, and even semi-automation of a complex activities, that globally involves decision-making of more than \$10 billion per day.

The conclusion of this hypothetical example is that this result may be a sign that in a low refinery margin environment, company may struggle to stay competitive and justify the required maintenance investments to stay open and the medium term.

To achieve a successful energy transition society needs to tackle the trilemma of energy security, affordability, and sustainability. Managing the energy trilemma is one of

the greatest challenges of our time and requires step changes in countless areas, including improved optimization of the existing energy matrix and raw materials. For further work, this methodology can be applied to the decision-making process on the sales side of crude oil, to the sale and purchase of oil products and to other commodities.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Bibliography

- [1] M. Huang, W. Shao and J. W. , “Correlations between the crude oil market and capital markets under the Russia–Ukraine conflict: A perspective of crude oil importing and exporting countries,” *Resources Policy*, pp. 1-14, 17 December 2022.
- [2] Z. Zhang, M. He, Y. Zhang and Y. Wang, “Geopolitical risk trends and crude oil price predictability,” *Energy*, pp. 1-13, 11 July 2022.
- [3] S. R. Alangi, E. Bjørndal and M. Bjørndal, “Can the European intraday market be designed as a congestion management tool?,” *Energy Economics*, pp. 1-17, 27 June 2022.
- [4] K.-H. Wang, C.-W. Su and M. Umar, “Geopolitical risk and crude oil security: A Chinese perspective,” *Energy*, pp. 1-13, 6 December 2021.
- [5] W. Iqbal, A. Fatima, H. Yumei, Q. Abbas and R. Iram, “Oil supply risk and affecting parameters associated with oil supplementation and disruption,” *Journal of Cleaner Production*, pp. 1-14, 17 January 2020.
- [6] S. Clerides, S.-I. Krokida, N. Lambertides and D. Tsouknidis, “What matters for consumer sentiment in the euro area? World crude oil price or retail gasoline price?,” *Energy Economics*, pp. 1-10, 23 November 2021.
- [7] S. Biswas, G. Bandyopadhyay and J. N. Mukhopadhyaya, "A multi-criteria based analytic framework for exploring the impact of Covid-19 on firm performance in emerging market," *Decision Analytics Journal*, <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2022.100143>, pp. 1-26, 11 November 2022.
- [8] X. Li, C. Liang, Z. Chen and M. Umar, “Forecasting crude oil volatility with uncertainty indicators: New evidence,” *Energy Economics*, pp. 1-19, 4 March 2022.
- [9] S. Wang, S. W. Wallace, J. Lu and Y. Gu, “Handling financial risks in crude oil imports: Taking into account crude oil prices as well as country and transportation risks,” *Transportation Research*, pp. 1-17, December 2020.

- [10] R. Du, G. Dong, L. Tian, Y. Wang, L. Zhao, X. Zhang, A. L. Vilela and H. E. Stanley, “Identifying the peak point of systemic risk in international crude oil importing trade,” *Energy*, pp. 1-11, 21 March 2019.
- [11] X. Yu, Y. Li, J. Lu and X. Shen, “Futures hedging in crude oil markets: A trade-off between risk and return,” *Resources Policy*, pp. 1-13, 30 November 2022.
- [12] X. Yu, W. Liang, L. Zhang, G. R. and L. Lu, “Risk assessment of the maintenance process for onshore oil and gas transmission pipelines under uncertainty,” *Reliability Engineering and System Safety*, pp. 1-18, 2 May 2018.
- [13] R. Demirer, R. Gupta, Q. Ji and A. K. Tiwari, “Geopolitical risks and the predictability of regional oil returns and volatility,” *Geopolitical risks and crude oil*, pp. 1-20, September 2019.
- [14] J. Bouoiyour, R. Selmi, S. Hammoudeh and M. E. Wohar, “What are the categories of geopolitical risks that could drive oil prices higher? Acts or threats?,” *Energy Economics*, pp. 1-14, 22 October 2019.
- [15] X. Sun, J. Hao and J. Li, “Multi-objective optimization of crude oil-supply portfolio based on interval prediction data,” *Annals of Operations Research*, pp. 1-29, 1 July 2022.
- [16] S. Bekiros, J. A. Hernandez, G. S. Uddin and A. T. Muzaffar, “On the predictability of crude oil market: A hybrid multiscale wavelet approach,” *Wiley*, pp. 1-16, 28 October 2019.
- [17] M. H. Khan, J. Ahmed, M. Mughal and I. H. Khan, “Oil price volatility and stock returns: Evidence from three oil-price wars,” *Wiley*, pp. 1-21, 11 August 2020.
- [18] Y. C. Joo and S. Y. Park, “The impact of oil price volatility on stock markets: Evidences from oil-importing countries,” *Energy Economics*, pp. 1-13, 23 June 2021.
- [19] W. Zhang, R. Wei and S. Peng, “The oil-slick trade: An analysis of embodied crude oil in China's trade and consumption,” *Energy Economics*, pp. 1-9, 16 April 2020.

- [20] M. Yuan, H. Zhang, B. Wang, L. Huang, K. Fang and Y. Liang, “Downstream oil supply security in China: Policy implications from quantifying the impact of oil import disruption,” *Energy Policy*, pp. 1-17, 4 November 2019.
- [21] I. Berk and E. Çam, “The shift in global crude oil market structure: A model-based analysis of the period 2013–2017,” *Energy Policy*, pp. 1-16, 5 April 2020.
- [22] M. V. Vasiljeva, V. V. P. V. Kuznetsov, N. N. Semenova, E. F. Kireeva, D. K. Goncharov and I. D. Elyakova, “Crude Oil Market Functioning and Sustainable Development Goals: Case of OPEC++ Participating Countries,” *Sustainability*, pp. 1-23, 15 April 2022.
- [23] F. Wang, L. Tian, R. Du and G. Dong, “Universal law in the crude oil market based on visibility graph algorithm and network structure,” *Resources Policy*, pp. 1-6, 2 December 2020.
- [24] D. Wen, L. Liu, Y. Wang and Y. Zhang, “Forecasting crude oil market returns: Enhanced moving average technical indicators,” *Resources Policy*, pp. 1-12, 29 January 2022.
- [25] M. Youssef and K. Mokni, “Do Crude Oil Prices Drive the Relationship between Stock Markets of Oil-Importing and Oil-Exporting Countries?,” *Economies*, pp. 1-22, 10 July 2019.
- [26] M. A. Kaviani, A. K. Yazdi, L. Ocampo and S. Kusi-Sarpong, “An integrated grey-based multi-criteria decision-making approach for supplier evaluation and selection in the oil and gas industry,” *Oil and gas industry*, pp. 1-37, 05 April 2019.
- [27] S. Zheng, X. Zhou, Z. Tan, H. Zhang, C. Liu, H. Hao, H. Hu, X. Cai, H. Yang and W. Luo, “Preliminary study on the global impact of sanctions on fossil energy trade: Based on complex network theory,” *Energy for Sustainable Development*, pp. 517-531, 12 November 2022.
- [28] L. Wang, F. Ma, T. Niu and C. Liang, “The importance of extreme shock: Examining the effect of investor sentiment on the crude oil futures market,” *Energy Economics*, pp. 1-14, 11 May 2021.

- [29] P. Horsnell, "Oil Pricing Systems," *The Oxford Institute for Energy Studies*, 2000.
- [30] X. Gao, D. Huang, Y. Jiang and T. Chen, "A decision tree based decomposition method for oil refinery scheduling," *Chinese Journal of Chemical Engineering*, pp. 1-8, 8 November 2017.
- [31] U. Dereci and M. E. Karabekmez, "The applications of multiple route optimization heuristics and meta-heuristic algorithms to solid waste transportation: A case study in Turkey," *Decision Analytics Journal*, <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2022.100113>, pp. 100-113, 28 August 2022.
- [32] M. Karatas and E. Yakici, "A multi-objective location analytics model for temporary emergency service center location decision in disasters," *Decision Analytics Journal*, <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2021.100004>, pp. 1-12, 6 September 2021.
- [33] C. A. N. Cosenza, F. A. Doria and L. A. M. Pessoa, "Hierarchy models for the organizational of economic spaces," *Procedia Computer Science*, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.010>, vol. 55, pp. 82-91, 2015.
- [34] L. A. M. Pessoa, M. P. E. Lins, C. A. N. Cosenza and H. G. Costa, "Comparison Between Fuzzy Methods in Location from a hypothetical Naval Base," *Research Gate*, pp. 1-13, 2014.
- [35] Z. Aung, I. S. Mikhaylov and Y. T. Aung, "Artificial Intelligence Methods Application in Oil Industry," in *NW Russia Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering*, Saint Petersburg, 2020.
- [36] L. A. Zadeh and K. T. M. S. King-Sun Fu, "Fuzzy Sets and their Applications to Cognitive and Decision Processes," *CALCULUS OF FUZZY RESTRICTIONS*, pp. 1-39, 1975.
- [37] T. Ross, "Fuzzy Logic with Engeneering Applications," in *Fuzzy Logic with Engeneering Applications*, New Mexico, Wiley, 2010.
- [38] S. Das, T. P. Sahu and R. R. Janghel, "Oil and gold price prediction using optimized fuzzy inference system based extreme learning machine," *Resources Policy*, pp. 1-15, 17 November 2022.

- [39]). M. Omair, S. Noor, M. Tayyab, S. Maqsood, W. Ahmed, B. Sarkar and M. S. Habib, "The Selection of the Sustainable Suppliers by the Development of a Decision Support Framework Based on Analytical Hierarchical Process and Fuzzy Inference System," *International Journal of Fuzzy Systems*, pp. 1-19, 16 February 2021.
- [40] C. A. N. Cosenza and P. R. Nascimento, "Alguns modelos empíricos de localização industrial," *Revista de Pesquisa de Planejamento Energético - EPEA*, vol. 1, 1975.
- [41] J. Brillo de Carvalho and C. A. N. Cosenza, "Methodology for Hierarchization of Competences: A Fast Decision-Making Algorithm Applied to Organizations in Brazil," *Journal of Human Resources Management and Labor Studies*, pp. 1-16, March 2014.
- [42] L. Caggiani, M. Ottomanelli and M. Dell'Orco, "Handling uncertainty in Multi Regional Input-Output models by entropy maximization and fuzzy programming," *Transportation Research: Logistics and Transportation Review*, <https://doi.org/10.1016/j.tre.2014.09.006>, vol. 71, pp. 159-172, 2014.
- [43] J. Többen, "On the simultaneous estimation of physical and monetary commodity flows," *ECONOMIC SYSTEMS RESEARCH*, <https://doi.org/10.1080/09535314.2016.1271774>, vol. 29, pp. 1-24, 2017.
- [44] H. G. Huntington, "Measuring oil supply disruptions: A historical perspective," *Energy Policy*, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.12.020>, vol. 115, pp. 426-433, April 2018.
- [45] J. D. Hamilton, "This is what happened to the oil price-macroeconomic relationship," *Journal of Monetary Economics*, [https://doi.org/10.1016/S0304-3932\(96\)01282-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3932(96)01282-2), vol. 38, pp. 215-220, 1996.
- [46] D. Ferrari, F. Ravazzolo and J. Vesplignani, "Forecasting energy commodity prices: A large global dataset sparse approach, <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105268>," *Energy economics*, vol. 98, pp. 1-12, 1 April 2021.

- [47] M. A. Elaziz, A. A. Ewees and Z. Alameer, "Improving Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Based on a Modified Salp Swarm Algorithm Using Genetic Algorithm to Forecast Crude Oil Price," *Natural Resources Research*, <https://doi.org/10.1007/s11053-019-09587-1>, vol. 29, p. 2671–2686, 2019.
- [48] Đ. Stojanovic and J. Ivetic, "Possibilities of using Incoterms clauses in a country logistics performance assessment and benchmarking," *Transport Policy*, pp. 1-12, 17 March 2020.
- [49] C. Mandl, S. Nadarajah, S. Minner and S. Gavirneni, "Data-driven storage operations: Cross-commodity backtest and structured policies.," *Production and Operations Management*, pp. 1-19, 19 January 2022.

HIERARCHICAL FUZZY MODEL APPLIED TO OIL TRADING

GUSTAVO B. ANDRADE³; LUCIANA B. ANDRADE²; EDISON CONDE³
FÁBIO KRYKHTINE⁴; CARLOS A. COSENZA⁵

ABSTRACT

Computer trading is currently relatively limited to quantitative trading in paper markets, such as, futures, swaps, and options, ignoring the large volume of physical commodities trading. Numerical algorithms and mathematical methods are frequently applied in trading of non-physical commodities and stock markets. However, the physical trade of oil does not have a computer program that represents an unquestionable development that includes more complex and subjective factors that traders take into consideration when entering a transaction. Using fuzzy logic, this work proposes a new approach to base a method that can rank oils and the variables, commonly involved in the trading, and which go beyond a simple estimated refining margin for a given crude. It uses fuzzy logic to blend objective and subjective factors, and brings in two key hierarchical steps to the process. These steps allow the selection process to start with a wider range of options and makes 2 subsequent filters before the final selection through fuzzy logic. It is shown that this model can also be useful for apprising a decision-making process, improving internal communication, and for the management of physical commodities trading. Here the options of trading are assessed accordingly to its numerical and linguistic judgments, considering even abrupt outcomes. The wide-ranging options, successive filters and factors evaluation that mirror the technical and expert trading decision making process make it possible the future application of artificial intelligence (AI) in physical commodities trading.

Keywords: fuzzy analysis; COPPE-Cosenza fuzzy model; physical commodities trading; fragmentation of markets; Asian oil consuming; hierarchical decision trading process

Acknowledgment: We appreciate the financial supported provided by CAPES, funded by the Brazilian government.

1. Introduction

Commodities are traded globally each year including energy sources, food and other key raw materials to the world economy and to supply the world's population with its needs. According to the International Energy Agency-IEA [1], 80% of global energy sources come from fossil fuels, such as natural gas, and oil. These fuels supply everything

^{1,3,4,5}COPPE/UFRJ – Federal University of Rio de Janeiro, Brazil

² Mechanical Engineer/UFRJ; Senior oil trading professional

from gas for cooking, diesel for transportation and gas for heating homes and petrochemicals, which make everything from building materials to medical supplies, to the clothes we wear.

Burning those fossil fuels produces greenhouse gases which can be one of the reasons of climate change. The world is trying to find renewable energies in a clean and sustainable way, like solar, wind, tidal or biomass. A great effort to develop nuclear fusion has been made toward more secure and clean energy sources. Global energy transition to low-carbon emission fuels is a well-known requirement to limit the impact on climate change. However, the world remains extremely dependent on fossil resources as a primary energy font, including to keep the operation the petrochemical industrial complex. New technologies are being developed to reach lower emissions, including carbon capture and storage.

In addition, recent crises such as the Covid-19 pandemic, Ukraine War, Middle East instability, and unsafe navigation along Red Sea have highlighted the level of global interdependence, which proves that shocks in a particular region can globally affect the whole planet.

To achieve a successful energy transition, society needs to tackle the trilemma of energy: security, affordability, and sustainability. Managing the energy trilemma is one of the greatest challenges of our time and requires radical changes in many areas, including the optimization of the consuming energy matrix as well as the optimal use of existing raw materials. Radulesco & Sulger [2] examined how countries respond to changes in energy capacity investment in their vicinity. Using spatial econometric models they analysed the interdependence of 17 European countries from 1978 to 2017, and found an reverse relationship concerning investment in energy capacities. The results revealed that a decline in domestic fossil energy production is associated with increasing fossil energy imports, suggesting that countries partially substitute one for the other.

Banna et all [3] investigated the impact of energy security risk (ESR) on economic stability, looking into 68 countries in the period from 1980 to 2021. The results indicated that high-ESR reduces gross domestic product growth rate (GDPG). Countries with pre-existing low GDPG generally suffer more from heightened energy insecurity.

McWilliams et all [4] examined how Russia's invasion of Ukraine has forced a rapid and profound rethink of European Union's energy supply. They explored how Europe can manage lacking the imports of Russian coal, crude oil, oil products, and natural gas. They also discussed alternative sources of supply, exploring the internal and

global bottlenecks that will arise with any attempt to replace Russian sources. The authors say that EU leaders must strive for a greater integration in energy issue which would ensure that the bloc would be ready for live without Russian energy.

Recently, the Oxford Institute for Energy Studies-OIES [5] described how oil has been priced over last decades, a procedure that remains nearly the same. The system itself may have been stable, but the past thirteen years have seen major changes in the underlying fundamentals of oil markets, as well as in oil trading. Within physical market, pattern of world trade flows has changed. The United States import gap has risen steadily, and now represents about a quarter of the volume of international crude oil traded. Inside that increase, the balance of America's imports has shifted away from long-haul towards short-haul sources, and for lighter to heavier crude oil. Asian import gap has also risen sharply, while Europe's has contracted, due to the steady increase of North Sea production and Russian supply. OIES also stated that West African production now starts having a more significant accomplishment, meandering into the three main crude oil consuming regions in the world. Petrobras, the Brazilian state-owned company, is now offering oils from Santos's basin to Asia countries.

2. Fuzzy Analysis Applied to Oil Market

Artificial intelligence (AI) has become deeply integrated into daily life. Some people admit AI are more likely to make better functional choices than human beings are. Zhang, Chen, Xu [6] examined the ethical problems connected to the use of AI, and concluded that a better understanding of AI, and a more effective prediction of its behaviors in moral dilemmas may guide a better management of AI. Franke, Franke & Riedel [7] remind that the use of AI has proven to be necessary given the complexity required in planning complex production. The optimization of decision-making is an important issue for big companies. However, given the requirement to understand the complexity of all possibilities, the construction of more difficult algorithms is increasingly necessary for appropriate decisions, occasionally based on subjective and multifaceted human feelings. The world will certainly benefit from the use of AI. Francisco [8] stated that safeguards are necessary considering the limits and signals which AI would ignore, when challenged by a more human perspective.

The literature shows attempts to use IA and neural networks in the analysis of the physical commodity market, but crude oil trading does not have a documented computer program that can use subjective ways of evaluating trading options, beyond the technical

selection and the profit margin ranking. Aung, Mikhaylov & Aung [9] provides an overview of the methods of AI, artificial neural networks, and support vector machine in oil and gas segment. They concluded that the use of methods based on AI increases the efficiency in exploration and production of petroleum, making possible to achieve better results with less cost for the companies.

Többen [10] analyzed the composition of commodities prices, using a simultaneous approximation model, obtaining a consistent price prevision. Panella et al. [11] also used AI in neural networks modelling commodity price predictions. The combination of neural networks with the Gaussian model seemed to be able to provide a better ability to predict fluctuations in crude oil prices.

Under a historical perspective, Huntington [12] and Hamilton [13] observed that commodities prices, such as oil and gas, are strongly connected to occurrence of natural events or significant global shocks. These events can indeed affect the balance of supply and demand. More recently Ferrari, Francesco & Vespignani [14] worked on forecasting quarterly nominal global energy prices of commodities, such as oil, gas and coal, using the Global VAR dataset proposed by Mohaddes and Raissi [15], for the 33 largest world economies. Their model seemed to provide superior forecasts than machine learning techniques applied to the same database approach.

The fluctuations of international oil market have cause substantial attention around the world and gave rise to attempts to forecast the risks in the crude trade. Based on oil prices data from thirty-four major import countries, Du et all (DU, DONG, *et al.*, 2019) evaluated cross-correlation functions and developed a sequence of relationship networks of oil imports along the time. Youssef & Mokni (YOUSSEF e MOKNI, 2019) investigated the role of the oil market in exporting-importing countries and established dynamic connections relating stock and oil markets. Berk & Çam (BERK e ÇAM, 2020) analyzed the behavior of global oil market price between 2014-2016. The applied method provides a scientific approach to answer important questions and creates better understanding into recent changes in the market. Vasiljeva et all (VASILJEVA, KUZNETSOV, *et al.*, 2022) explained why oil production impacts the sustainable development of OPEC countries in situations of great uncertainty.

Asia have become one of the world biggest oil consumer region. In 2002, according to British Petroleum [20], China ascended to the second place among the biggest oil consumer in the world, overtaking Japan. Using BP data, Yuan et all (YUAN, ZHANG, *et al.*, 2019) stated that disruptions in international oil supply could create

strong pressures over downstream oil market for importing countries, especially China. In 2022, according to the International Energy Agency, Japan consumed more than 3 million barrels per day, India burned 5 million, while China did nearly 14 million barrels of oil per day. Japan is highly dependent on imported oil, mostly from the Middle East. Since the accident of Fukushima nuclear plant, Japan has made a great effort toward green sources of energy, although fossil fuels are still responsible for a large portion of its energy imports.

The fragmentation of suppliers has had an important role on Chinese oil consumption, which cannot be accurately assessed. Zhang, Wei & Peng (ZHANG, WEI e PENG, 2020) examined the crude oil transactions in China along 1995–2011. One important conclusion is that the world should pay more attention to the purchaser accountability and to the economic reality of international production, shaped by fragmentation. This is also true for the use of rain forest wood as well as for the irresponsible burning of fossil fuels.

Russia remains as the main supplier of fossil energy to European countries. The impact of sanctions on fossil energy trade under the contextual of the Russia-Ukraine conflict has attracted global attention. Based on data of fossil energy trade in 2020, Zheng et all (ZHENG, ZHOU, *et al.*, 2022) studied the impact of sanction on national and global fossil energy trade patterns, based on complex network theory. To mitigate the impact of sanctions, Russia shifted its fossil-energy export portfolio to China and other Asian countries. In addition, the study found that sanctions reshaped the pattern of global fossil energy trade and transferred the energy controlling power from Europe to Asia.

For Zadeh [24], fuzzy logic can be understood as the attempt to adjust the observed hazy reality through the benefit of the vagueness in human cognition. Ross [25] states that the technique involves clearly defined boundless concepts and linguistic statements which incline to express subjective ideas that can have dissimilar interpretations for different individuals. Natural language is sometimes incomprehensible for it involves complex feelings, described by vague and imprecise terms. Because of this reason, fuzzy logic as well as neural and artificial networks have been used as an effort to systematize control and command systems, which involve imprecise and personal criteria in engineering, architecture and in decision-making processes of various topics in business area.

Using fuzzy logic, Niksirat [26] applied a model in which fresh dairy products would be delivered in eight different cities, maximizing profit and minimizing delivery time

and losses. The results showed that the maximum efficiency in multivariate conditions was attained by Pareto's efficiency, in which was necessary to assign different importance degree for each condition. Recently Priscila Pinto (PINTO, 2019) studied the performance of shipyards, considering quantitative and qualitative factors which can affect the competitiveness, such as technology and industrial location. The work used an original methodology using fuzzy sets of qualitative factors expressed through linguistic terms. The approach allowed to become visible obscured aspects on ordinary analysis, as working and social conditions of the employees, which can highly impact the picture of the project. Handling uncertainty in multi-regional models, Caggiani, Ottomanelli & Dell'Orco [28] evaluated commercial activities, using available data sources, based on the entropy maximization principle and fuzzy optimization. The work put together values of production, trade coefficients, and final demand. They considered the uncertainty embedded in existing information, assuming that the available data are incomplete and approximate. Applied to real scale problem, the model showed good estimation performances and robustness in different scenario.

Paula, Gil-Lafuente & Rezende [29] reminded that companies all over the world face several management challenges, and decision-makers must adopt new attitudes which must consider sustainable development in their operations. They proposed distance measurement algorithms to evaluate and classify suppliers in consumer goods industry. The results demonstrate the effectiveness of the algorithms in decision-making and represent a contribution to the sustainable development of companies.

For small energy nets, Ganguly, Kalam & Zayegh [30] used a fuzzy logic-based management system. The smart proposed operation aimed to minimize the operational costs and the environmental impacts of the microgrid, while significantly improved the economic and technical performance of power supply.

The Coppe-Cosenza model has proved to be an effective tool to support decision-makers. Cosenza et all (COSENZA, DORIA e PESSÔA, 2015) used structured matrices based on regional potentialities to organize economic spaces. This model was intended to support an information system that enables a public administrator to formulate suitable policies for choosing an industrial location. The algorithm was applied to locate bio-diesel plants, assisting public authorities to define investment priorities. Cosenza, Neves & Lima [32] used the hierarchical model to locate biodiesel industrial centers, considering geographical sites for construction as well as the economic effects that would outcome from that regional positioning. The Coppe-Cosenza R model [33] used R programming

language to assess a set of industrial facility locations based on two key factors: the necessary inputs to operate the industrial facility and the available resources at each site.

Andrade et all (ANDRADE, ANDRADE, *et al.*, 2023) showed that fuzzy analysis can be a valuable method for a broad and logical understanding of a typical buying decision-making, examining available options for oil supply. This work offers a wider-ranging fuzzy perspective for oil trading and extends the Coppe-Cosenza method to aid the supply decision-making of crude oil for a refinery. It proposes an expansion of the initial understanding and brings in two key step on the process involving the choice of available crude oils, making it possible future application of Artificial Intelligence (AI) on this area.

3. Selection and Purchase of Crude Oil

The typical crude oil selection process ranks crude oils according to a calculated profit margin from the available options, within the technical suitable universe. In the real world, experienced professionals arrive at the final decision also using a set of qualitative factors, mentally weighted, using the existing information and their own judgment. This method of mental pondering is challenged daily. The dynamism of the market, combined with the amount of money involved in each purchase call for assertion and speed. On the other hand, it is well known that human beings, even the most experienced, can make bad judgments. For example, high importance tends to be given to recent and personal events, good or bad, despite a historical reality based on objective statistics.

The most important factors for the selection of a given supply are the refining profit margin combined with the crude quality, which must be well suited to the refinery conditions. Each crude oil has very specific characteristics, such as the density, the chemical composition of molecules, the amount of sulphur, and the aromatic chemicals content, such as benzene. The first step on the approval process is the analysis of its chemical profile, called *crude assay*. Michael, Tobi & Asseibichin [35] categorized twenty Nigerian crude oil types, showing their API values, suffer content, and others operation qualities.

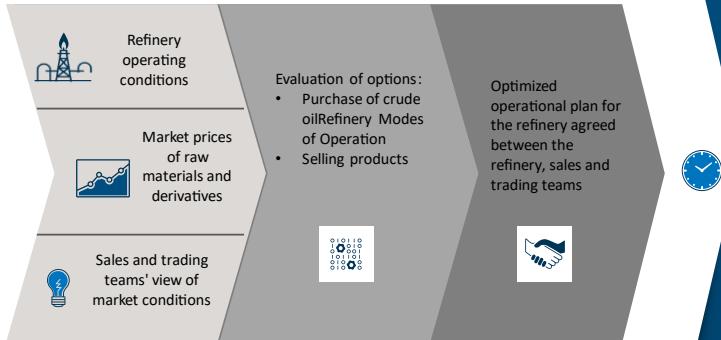
The next step is running operational tests, which can establish the impact on current production and potential damage to the facilities. At the end of these tests, the crude can be approved, approved with restrictions, or not approved. Temporary limitations can also have logistical reasons, such as the maintenance of a pier, the restricted size of a tank, or the mode of transportation the shipment can be received in.

Refineries typically run a monthly and a weekly planning cycle. Traders report the prices of the different crude oils and petroleum products on a weekly basis. Dozens of qualities of crude oils and products are accessible in the market. Prices are typically reported as the sum of a price marker, recognized and regularly published by a specialist agency, plus or minus a fixed differential. These prices along with other refinery assumptions and restrictions, are used to run a *linear program* (LP), which reproduces the refinery units and estimates the profit margin for each quality of crude oil. Within the planning process, the LP generates a report called a *pecking order* which lists the different margins for the different qualities and prices of available crude oils. Then, the different qualities are ranked according to the profit margin. Finally, the most attractive qualities are considered for purchase. Often, some crude oils have more attractive refining margins, but are not technically well suited to a given refinery. When specific qualities with attractive margins often present technical incompatibility, adjustment studies must be conducted which may require medium or long-term investments, to enable an increased flexibility and the competitiveness of the plant.

The optimization and operation of a refinery involves multidisciplinary teams for supplying, processing, and selling products. The cyclical planning process can be shaken by unexpected changes on various levels. These changes generate the need for rapid review of the operation plan, with a degree of complex and in-depth analysis, where decisions can impact cost-effectiveness by millions of dollars, as shown in the schematic descriptions in Figure 2 and Figure 2. Correctness and speed in decision-making are essential factors for the survival of an industrial company. The decommissioning of refineries is frequent, mainly caused by the loss of competitiveness.

The operation planning of a refinery considers many factors and analyses to arrive at an optimal plan....

Refinery Optimization Flow Schematic Example



Unexpected events



... The next day, everything can change:

- The operating conditions of the refinery, in the face of the malfunction of a hydraulic pump or processing unit in the refinery;
- Logistics, resulting from the delay in loading or unloading volumes;
- The market, due to sudden changes in the prices and liquidity of crude oil and derivatives.

8

Figure 1: Schematic of refinery planning process

The optimal operation of a refinery depends on the ability to adapt to change

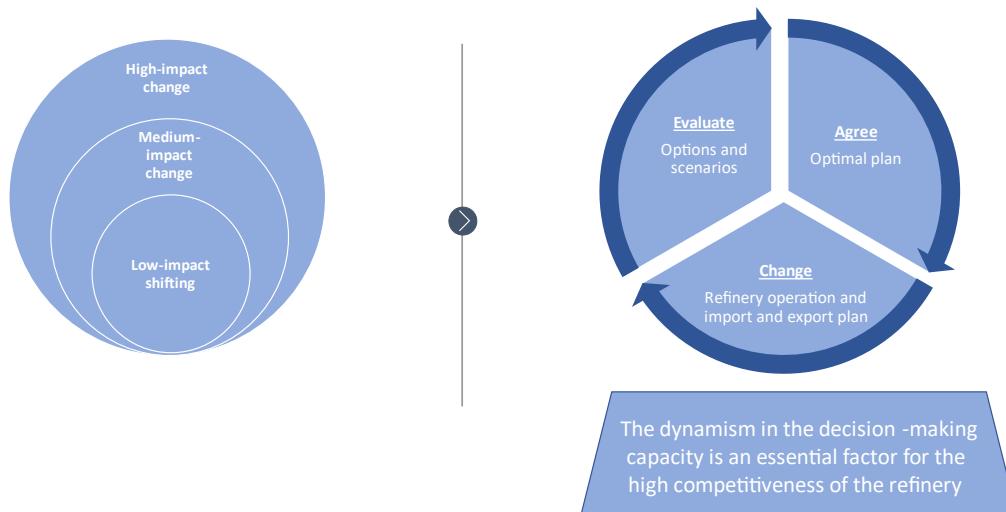


Figure 2: Cycle of changes towards to competitiveness

4. Crude Oil Selection Through the Three Step Hierarchical Method

This work develops a fuzzy method to select crude for a refinery supply. The selection model here proposed uses three steps. The computer program called Linear Programming usually ranks the options according to refining profit margin, but is limited to the refinery unit constraints and market prices. Crucial factors in the initial selection are not considered in the program, which can limit the option eventually chosen. In the proposed methodology, the 1st filter compares the expected refining margin of all available oils. quality attributes are given to the oils and then ranked according to their expected product profile as shown in Figure 3.

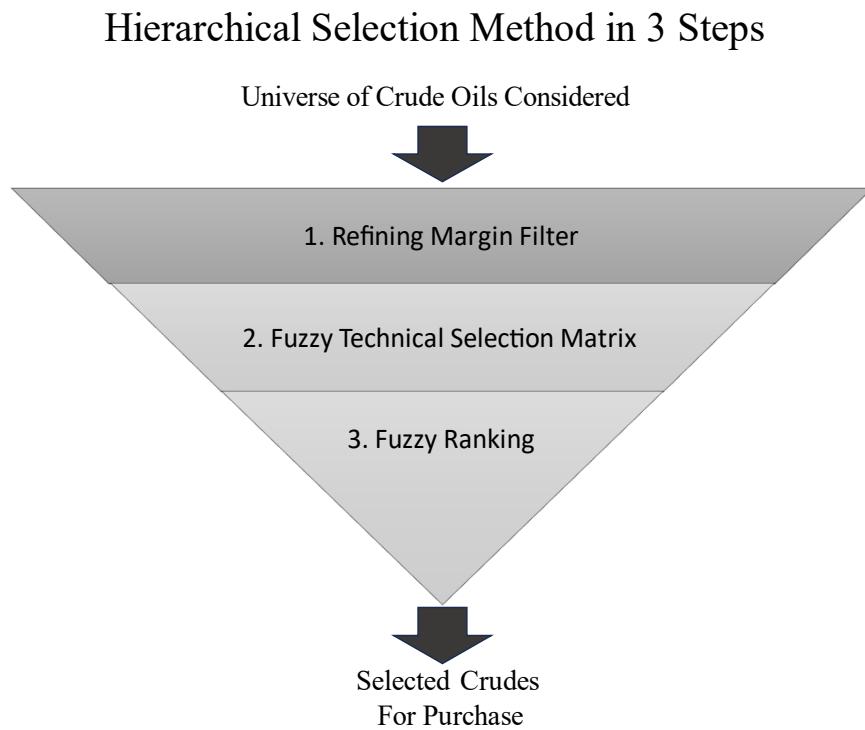


Figure 3: Three steps of hierarchical selection of available crude oil.

A linguistic assessment is then given to the refining margin ranges. Here only the qualities that offer regular, good, and excellent margins move on to the second stage of selection. In this way, only the set of profit margins (PM) where $\mu_{\bar{P}M} (f_i) \in [0, 1]$ is considered.

The 2nd filter is accomplished by plotting a set of ordered pairs, where the ordinate is the refining margin and the abscissa is the viability, obtained by the sum of the fuzzy values:

$$V_i = \mu_{AP} (q_i) + \mu_S (q_i)$$

where V_i is the viability, obtained by the sum of fuzzy number for the approval, $\mu_{AP}(q_i) \in [0, 1]$ and μ_s is the degree of suitability of the crude oil q_i to the refinery's operating status. Quadrant I of Figure 4 represents the set of crude oil qualities classified as purchase priority, due to a good margin and high technical feasibility. Quadrant II represents the set of crude oils with good margin and low technical feasibility, which can be considered in the future, after further tests and possible adjustments. The set of oils plotted in quadrant III are discarded, due to low technical feasibility and regular refining margin. Finally, quadrant IV contains the set of oils with high technical feasibility and regular margin, which can be considered in the absence of options with higher margin.

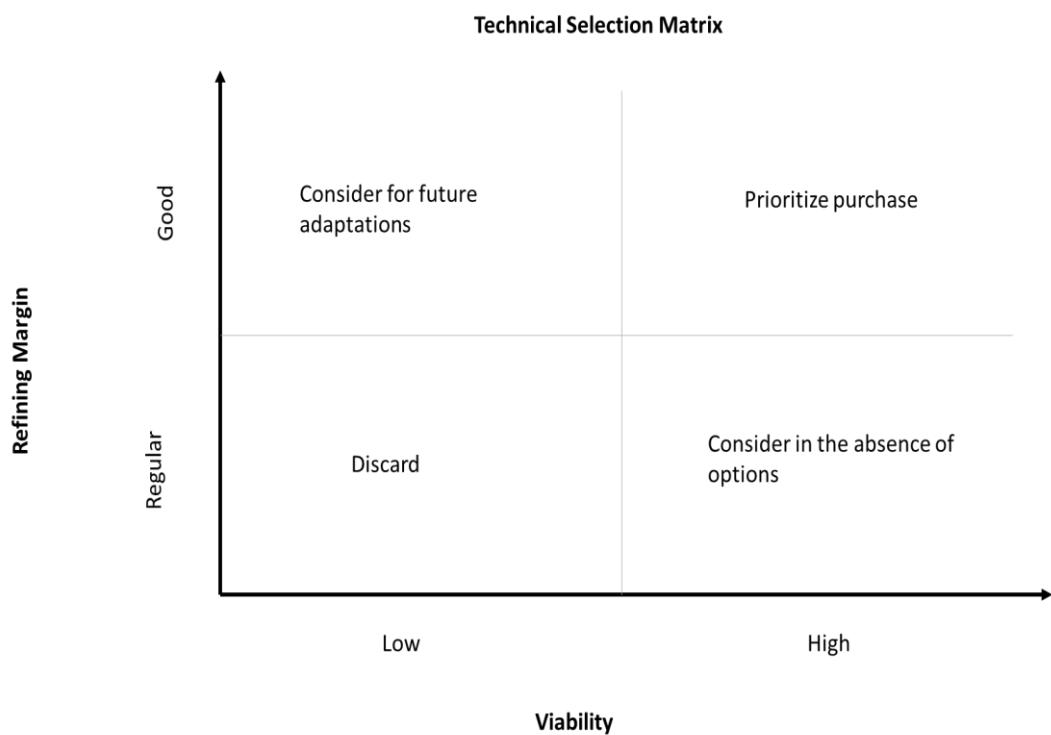


Figure 4: The technical selection matrix combines technical viability with refining margin.

The 3rd filter of the proposed method uses the Coppe-Cosenza model to the crude oil selection, relating all the involved factors. This step is a fuzzy ranking assessment of the level of alternative supply options, related to a set of objective and subjective factors. These factors are considered for decision-making to satisfy the refinery demand, for an appropriate crude oil at a given time. From this perspective, the final step of the methodology then consists in operating the demand and supply matrices, under certain rules, relating margin, logistic security, and risks.

The applied hierarchical analyses method states \tilde{D} as the demand matrix of ordered pairs, where $\tilde{D} = \{f_i, \mu_{\tilde{D}}(f_i) | f_i \in F\}$, and $\mu_{\tilde{D}}(f_i) \in [0, 1]$, the set of the attributed fuzzy significances of each factor i , between 0 and 1, which represents the degree of

pertinence of each factor. Analogously, for the supply matrix, $\tilde{O} = \{f_i, \mu_{\tilde{O}}(f_i) \mid f_i \in F\}$, where \tilde{O} is the fuzzy notation of the supply matrix, f_i the considered factor and $\mu_{\tilde{O}}(f_i) \in [0, 1]$, again the degree of pertinence of each factor f , for the considered supply type. Operating the two matrices, it will find the correlation, connecting demand and supply, which can reach the best choices to value the offers, as shown in Table 1.

Table 1: Pertinence relationship matrix for the correlation demand and supply.

$d_{hi} \otimes O_{ij}$	...	$\mu_{\tilde{O}}(f_i)$	...	1
...	1	c_{hj}	c_{hj}	c_{hj}
$\mu_{\tilde{D}}(f_i)$	c_{hj}	1	c_{hj}	c_{hj}
...	c_{hj}	c_{hj}	1	c_{hj}
1	c_{hj}	c_{hj}	c_{hj}	1

where: $c_{hj} = 1 + [\mu_{\tilde{O}}(f_i) - \mu_{\tilde{D}}(f_i)]$.

If $\mu_{\tilde{O}}(f_i) = \mu_{\tilde{D}}(f_i)$, $c_{hj} = 1$, and the supply alternative j meets offer h at the required level. Therefore, the degree of service is **sufficient**. If $\mu_{\tilde{O}}(f_i) < \mu_{\tilde{D}}(f_i)$, $c_{hj} < 1$, and the supply alternative j does not meet project h at the required level. Therefore, the degree of care is **insufficient**. If $\mu_{\tilde{O}}(f_i) > \mu_{\tilde{D}}(f_i)$, $c_{hj} > 1$ and the supply alternative j meets project h , at a higher level than required. Therefore, the degree of service is **superior**. In matrix C, the maximum value of c_{hj} in each column indicates the best supply for the logistic alternative corresponding to that column. On the other hand, the maximum value of c_{hj} in each row indicates the best logistic for that supplier corresponding to that row. Finally, one can aggregate the demand for all factors and the supply of all factors, thus obtaining supply option ratios which reflect the result of the analysis. The indices are the δ_{hj} elements of the Δ_{pxm} matrix calculated as follows:

$$\delta_{hj} = \frac{[\text{sum of all } \mu_{\tilde{O}}(f_i) \text{ related to the supply option } j]}{[\text{sum of all } \mu_{\tilde{D}}(f_i) \text{ related to the logistic option } h]}$$

The following rules were defined:

1. The sum of all the degrees of relevance for irrelevant factors must be less than or equal to the degree of relevance for a minor factor.
2. The sum of all the degrees of relevance for the least conditioning factors must be less than or equal to the degree of relevance for a conditioning factor.

To perform all the calculation was used a commercial spreadsheet application, Excel, which allowed to create the tables, graphs, and analyze the data.

5. Application of the Model and Analysis of the Results

5.1 Descriptions of a Practical Application of the Model

Mizushima refinery in Japan is considered one of the most modern and efficient oil plant in the world, with a capacity of processing 350,000 barrels per day. The refinery largely utilizes command and control computer systems, qualified to optimize its operation, and execute safe procedures, which is a major concern in the country.

For this application is supposed that planning and trade teams need to put an order supply of 450,000 ton of crude oil to Mizushima, matching its technical and industrial requirements. Each supply is related to a different quality of crude oil, which produces different volumes of oil products. All the used data is hypothetical and came from specialists.

5.2 Refining Margin Filter (PM)

The first step of selecting the best purchase option is to look at the profit margin (PM), provided by the *pecking order*, which is an output of the *Linear Programming* tool, commonly used at refineries. The trader has dozens of oils which can match the technical requirements of the plant, within acceptable PM.

Let us consider the PM excellent if greater or equal to US\$5, good if greater or equal to US\$4.0 and less than US\$ 5, regular for values greater or equal to US\$3 and less than US\$ 4, and weak if less than US\$3. Only oils with a PM considered excellent, good, and regular will go through the second filter.

5.3 Technical Selection Matrix

In the technical selection matrix, the abscissa is the viability and the ordinate is the refining margin of those oils considered excellent, good and regular. Table 2 shows the technical feasibility assessment, in relation to the state of approval and adequacy of the crude oil to the refinery's operating circumstances, at the considered time. The viability plotted as ordinate is based on Table 3, where the given fuzzy number are 1.0

for the approved, 0.5 for those approved with restrictions, and zero for the not approved. The same procedure for suitability, gives 1.0 for those well suited, 0.5 for the partially adequate, and zero for those not suitable. Table 4 shows ordered pairs referring to refining margin and technical feasibility of each crude oil quality. The technical selection matrix is finally shown in Figure 5.

Table 2: Linguistic assessment of technical feasibility in relation to the state of approval and suitability of crude oil to the refinery situation.

Crude Oil Quality	Crude Oil Approval	Suitability to the Refinery's Situation
AKPO Blend	Approved	Well suited
Arab Super-Light	Approved with restrictions	Not suitable
Arabian Light	Approved	Not suitable
Arabian Medium	Approved	Well suited
Arne South	Approved with restrictions	Partially adequate
Asgard	Approved	Well suited
Beryl	Approved	Well suited
Bonga	Approved with restrictions	Not suitable
Bonnie light	Not approved	Well suited
Brass light	Approved	Well suited
Brent	Approved with restrictions	Not suitable
Culzean Assay	Approved	Partially adequate
Dansk Blend	Approved with restrictions	Well suited
Draugen	Approved	Well suited
EA Field	Not approved	Partially adequate
Es Sider	Approved	Not suitable
Lula	Approved	Partially adequate
Urals	Approved with restrictions	Well suited
WT Light	Approved	Partially adequate

Table 3: Degrees of fuzzy relevance to technical feasibility factors

Crude Oil Quality	Crude Oil Approval	Suitability to the Refinery's Situation
AKPO Blend	1,0	1,0
Arab Super Light	0,5	0,0
Arabian Light	1,0	0,0
Arabian Medium	1,0	1,0
Arne South	0,5	0,5
Asgard	1,0	1,0
Beryl	1,0	1,0
Bonga	0,5	0,0
Bonnie light	0,0	1,0
Brass light	1,0	1,0
Brent	0,5	0,0
Culzean Assay	1,0	0,5
Dansk Blend	0,5	1,0
Draugen	1,0	1,0
EA Field	0,0	0,5
Es Sider	1,0	0,0
Lula	1,0	0,5
Urals	0,5	1,0
WT Light	1,0	0,5

Table 4: Ordered pairs referring to refining margin and technical feasibility of each crude oil quality

Crude Oil Quality	Country of Origin	Company Bidding	Refining Margin	Feasibility
AKPO Blend	Nigeria	Shell - North Sea	5,50	2,0
Arab Super-Light	Saudi Arabia	Esso - Iraq	4,16	0,5
Arabian Light	Saudi Arabia	Saudi Aramco - Saudi Arabia	3,70	1,0
Arabian Medium	Saudi Arabia	Saudi Aramco - Saudi Arabia	5,15	2,0
Arne South	Denmark	Saudi Aramco - Saudi Arabia	4,65	1,0
Asgard	Norway	Equinor	4,10	2,0
Beryl	United Kingdom	Shell - North Sea	3,60	2,0
Bonga	Nigeria	Vitol	5,25	0,5
Bonnie light	Nigeria	Total - Lavera	4,65	1,0
Brass light	Nigeria	Vitol	4,60	2,0
Brent	United Kingdom	Shell - North Sea	4,70	0,5
Culzean Assay	United Kingdom	Total - Lavera	5,40	1,5
Dansk Blend	Denmark	Equinor	5,05	1,5
Draugen	Norway	Glencore	5,00	2,0
EA Field	Nigeria	Vitol	3,80	0,5
Es Sider	Libya	Total - Lavera	3,90	1,0
Lula	Brazil	Petrobras - Campos Basin	4,60	1,5
Urals	Russia	Gasprom - Russia	5,50	1,5
WT Light	United States	BP – Gulf of Mexico	5,10	1,5

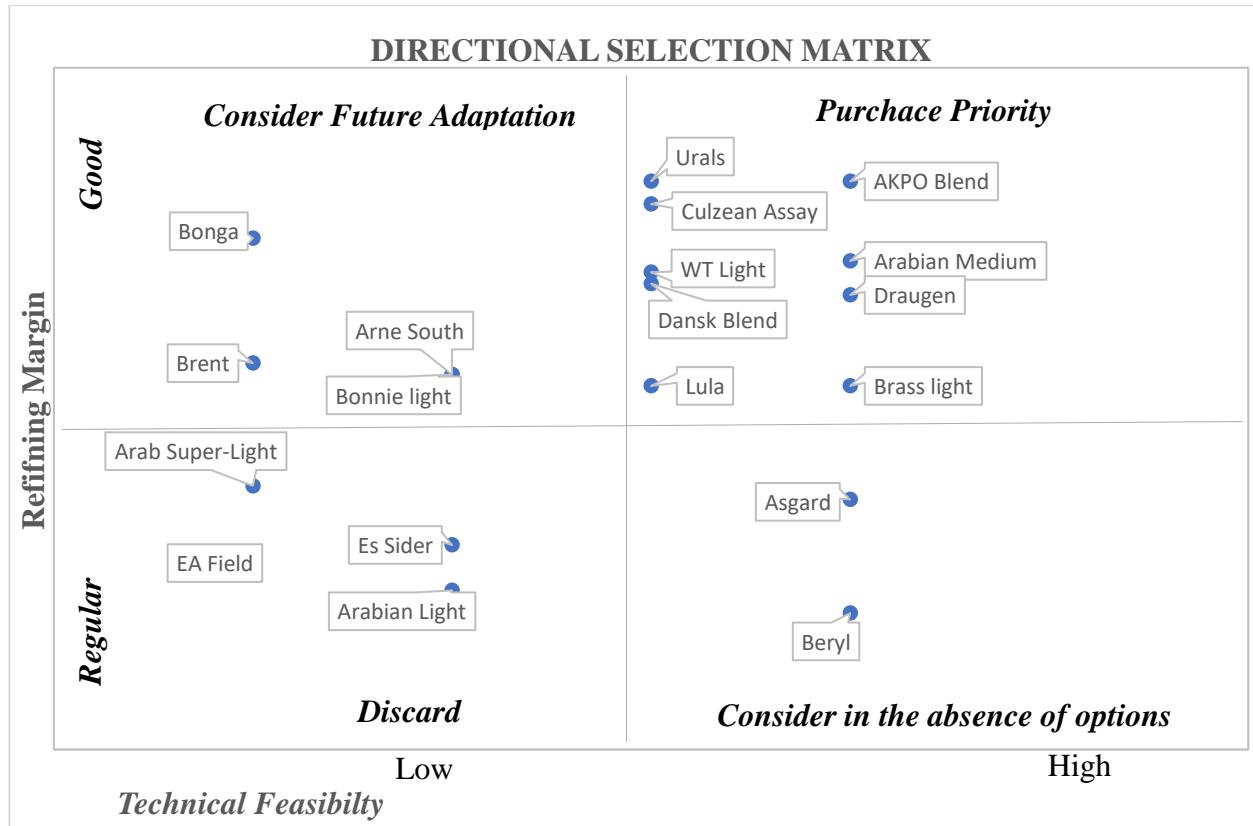


Figure 5: Technical selection matrix for Mizushima, considering refining margin and technical feasibility.

5.4 Fuzzy ranking results and discussion

The 3rd step uses the hierarchical fuzzy method which incorporates proper rules as earlier defined. Table 5 shows the factor definitions and Table 6 displays the degree of relevance attributed to the demand factors. Table 7 establishes the related qualification on the offer matrix of each factor.

Table 5: Definition of demand factors valid for the demand

Refining margin as a function of final delivered price and oil quality (\$ /barrel)	Total value obtained from the sale of produced oil products, minus the cost of crude oil, minus production costs.
Payment Term	Invoice payment is normally made two days after delivery. In FOB mode, delivery takes place at the time of loading at the port of origin, characterized by passing through the port valve. In the DAT and <i>IN Tank</i> modes, the delivery takes place at the time of unloading at the port or at the destination terminal, characterized by the passage through the customer's valve. The invoice in FOB mode, therefore, is delivered earlier, with the need for working capital financing throughout the transport time. Therefore, the payment term is more sensitive to the FOB mode of delivery.
Delivery Date (+ or - days in relation to the ideal date)	The refinery determines the best delivery date for each cargo, within a certain margin of variation. For smaller and multiple loads, there may be greater flexibility. However, if the receipt is of a bulkier load, the Delivery date becomes more sensitive, due to the need for more precise adaptation of space in the port and tanks.
Supplier Relationship	A good relationship with the supplier facilitates discussions and negotiations with the buyer and can assume, in practice, greater relevance than it objectively deserves.
Pre-registration in the payment system	Registration in the companies' payment system is a basic requirement for the execution of the business, including the generation of formal contracts and payment. This record typically includes items such as a credit check and a form to know the other company's corporate structure, called KYC (<i>Know Your Customer</i>). A registration and pre-approval in the system prevents potential delays to the completion of the deal, which can be as long as a week.
Compatibility of standard and size of ships in ports of loading and unloading	Each port has its own characteristics due to its geography and infrastructure. Consideration of geography includes, for example, the draft, the local tidal table, physical conditions of the waters, such as the potential presence of ice. The infrastructure includes maximum and minimum capacities of the boat, its size, and pumping equipment. This set of characteristics determines whether a given ship can dock, load or unload the product at the port. Some characteristics, such as the number of seamen required for the operation or a maximum allowable volume, can be adapted, others, such as the size of the ship, are given.

Security procedures at the cargo terminal aligned with the buyer	Companies have safety procedures to prevent incidents in their product loading and unloading. An arrangement of these procedures is necessary so that the ship's crew can safely work together with the port staff. Companies with different procedures may require specific adjustments to carry out certain deals.
Delivery performance history (number of issues in the last 3 years)	Receiving the purchased oil within all the agreed conditions, such as date and quality, is decisive for the proper functioning of the refinery. Therefore, companies with a good track record performance have an advantage to close deals.
Risk of disruptions at the loading port	This factor is highly dependent on the conjuncture. For example, disruption of a disease, labour problems, strikes, pirates, armed conflicts, and possible sanctions imposed on the supplier can make this factor important.
Social and environmental responsibility	Seller social and environmental responsibility can be taken into account.
Alignment of contract terms	The contract is a formal document which contains standard and customized sections, which must have clauses fully aligned between seller and buyer in order for the deal be effective.
Availability of suitable vessels in the open freight market	It depends both on typical liquidity of the vessel category in the spot, and on the momentary availability of that type of vessel. For example, the Gulf of Mexico typically has greater liquidity for ship options than the Baltic Sea.
Space availability in the tank-to-tank connection	It is only relevant for the type of delivery that simple uses pumping the cargo from a tank at a terminal of origin close to reception port, connected by pipeline to the buyer's premises.
Pre-approval of the loading port	A pre-approved loading port has typically already been audited by the company regarding the safety of facility procedures. Pre-approval prevents delays in completing the deal.

Table 6: Definition and degree of relevance of every factor on the demand matrix

Importance	Definition	Degree of Relevance
Critical	The existence of the factor is very important for indispensable accomplishment of the venture.	1,0
Conditioning	The existence of the factor at high levels is desirable for the success of the project.	0,8
Little conditioning	The factor does not have a significant impact on the enterprise.	0,5
Irrelevant	The existence of the factor is not decisive for the activity, but it may indicate favourable conditions of competitiveness;	0,2

Table 7: Factors values definitions for the offer matrix.

Factors	Excellent	Good	Regular	Weak
Refining margin as a function of final delivered price and quality (\$ per barrel)	PM \geq US\$5.0	US\$4,0 \geq PM <5.0	US\$3,0 \geq PM < 4.0	PM<U S\$3.0
Payment Term	Greater than 30 days	15 to 30 days	3 to 15 days	Less than 3 days
Delivery Date (\pm days from the ideal date)	1	3	4	Greater than 4
Supplier Relationship	Excellent	Good	Regular	Weak
Pre-registration in the payment system	Complete and automated	Complete, but not automated	Partial	Non-existent
Security History (number of security events in the last 3 years)	0	1	2	Greater than 2
Security procedures at the cargo terminal, aligned with the buyer	Meets international and purchasing company standards	Meets international standards, but partially for purchasing company	-	Does not meet international or purchasing company standards
Delivery performance history (number of issues in the last 3 years)	0	1	2	Major que 2
Risk of disruptions at the loading port	Very low	Low	Medium	High

Social and environmental responsibility of the company	Very low	Low	Medium	High
Alignment of contract terms	Pre-existence of aligned standard contracts	Strong track record of contracts between the parties, but no pre-agreed standards	Poor track record of contracts between the companies	History of contract terms issues in the last 3 years
Time zone difference between buyer and seller	No	Up to 3 hours	3 to 6 hours	Greater than 6 hours
Availability of adequate transportation	Good liquidity and good availability	Medium liquidity and good availability	Medium liquidity and medium availability	Weak liquidity or availability
Pre-approve from loading port	Approved	Approved with minor restrictions	Approved with important restrictions	Not approved

Table 8 gives the fuzzy rating ranges in terms of the final competitiveness of the supply alternatives. Table 9 shows the supply competitiveness classification according to supply options. The results of the matrix Δ of the supply option indexes reflect the result of the analysis of the supply options for the considered logistics, shown in the Table 10. Table 11 shows the linguistic evaluation of the supply option ranking. The planning team can then provide the trader with a recommendation, such as shown in Table 12, which results from subjective and objective evaluations, with indications of which offers should be negotiated.

Table 8: Quality definition of supply options

Supply Option	Level of the supply
Excellent	1,0
Good	0,8
Regular	0,5
Weak	0,2

Table 9: Fuzzy indexes competitiveness by supply options

Very competitive	>1
Competitive	Entre 0,8 e 0,9
Uncompetitive	<0,8

Table 10: Delta matrix of logistic indices

	FOB 3 ships	DAT 3 ships	FOB 1 ship	At the tank
NNPC - Nigeria	0,50	0,49	0,46	-
Petrobras - Campos Basin	0,50	-	0,80	-
Gazprom - Russia	0,86	0,58	0,55	-
Esso - Mizushima	-	-	-	1,02
BP - Gulf of Mexico	0,88	0,97	-	-
Shell - North Sea	0,99	1,22	1,16	-
Vitol - Nigeria	-	1,04	-	-
Glencore - Norway	-	1,06	-	-
Total - North Sea	1,07	1,09	1,03	-

Table 11: Linguistic fuzzy evaluation of the delta matrix of logistic indices.

	3 ships FOB	3 ships DAT	1 ship FOB	At the tank
NNPC - Nigeria	Uncompetitive	Uncompetitive	Uncompetitive	-
Petrobras - Campos Basin	Uncompetitive	-	Uncompetitive	-
Gazprom - Russia	Uncompetitive	Uncompetitive	Uncompetitive	-
Esso - Mizushima	-	-	-	Very competitive
BP - Gulf of Mexico	Competitive	Very competitive	-	-
Shell - North Sea	Competitive	Very competitive	Very competitive	-
Vitol - Nigeria	-	Very competitive	-	-
Glencore - Norway	-	Very competitive	-	-
Total - North Sea	Very competitive	Very competitive	Very competitive	-

Table 12: Final ranking of supply options for Mizushima

Ranking	Supplier	Logistic Option
1	Total – North Sea	3 ships FOB
2	Shell – North Sea	3 ships DAT
3	Shell – North Sea	1 ship FOB
4	Esso - Mizushima	At the tank

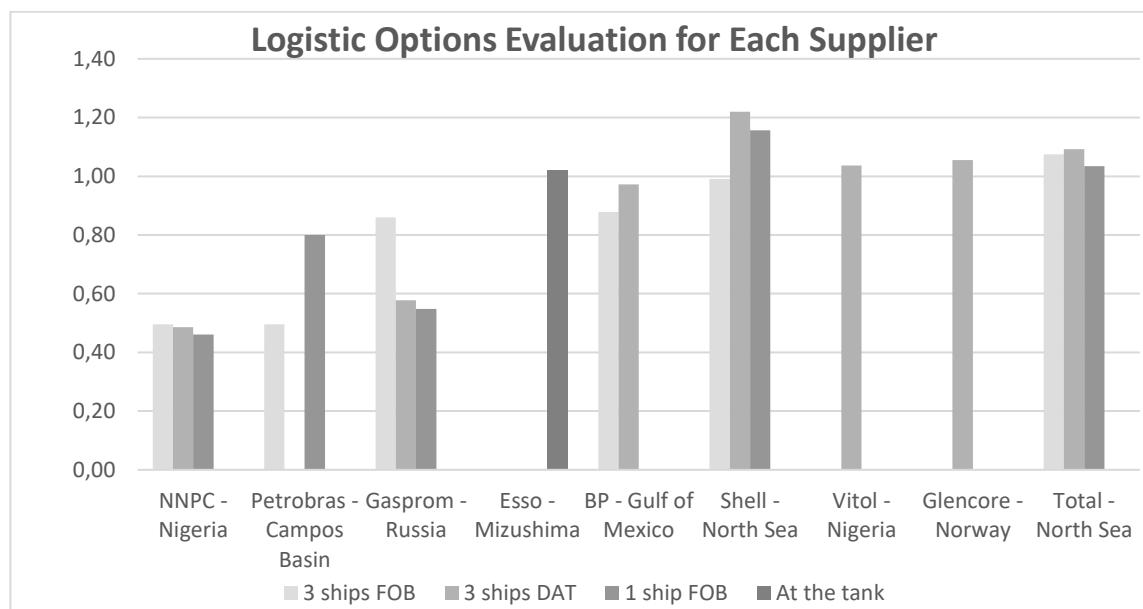


Figure 6: Evaluation of suppliers by logistic option

In the studied case, the best option seems to be AKPO Blend crude oil, offered by Shell in 3 DAT vessels, as it is a very competitive offer with an excellent refining margin. The Shell AKPO Blend appears to be competitive in the all the logistic processes. For pumping from tank-to-tank ESSO is the only one available, an option that can be worked in cases of an urgent situation. The methodology seems to be very flexible as it can assign new factors, fulfilling requirements as they turn to be considered. The presence of new players in the bid, as Brazil and Nigeria, represents a signal of the shift of decision market center from Europe to other partners.

6. Conclusion

This work proposes a novel methodology for the selection of crude oils for a refinery supply. It gives a full evaluation of the problem, involving a fuzzy handling of factors, which looks useful to semi-automatize the whole process.

The Coppe-Cosenza model has been previously tested in different applications, like decision making in industrial plant locations, combining subjective and objective judgments. The importance of extending the method to a broader application on the commodities market was recognized by specialists. The results of the analysis through a 3-step hierarchical model showed great coherence with the real practical problem. The developed method is thus a true contribution to process, ranking improvement and selecting oil suppliers through the combination of classical margin analysis with subjective factors.

The methodology can work towards the improvement of purchasing decisions, as well as the improvement of internal communications, especially when some selected crude oil does not offer the best refining margin. This looks like a real advancement compared with current practices, since it incorporates more complex non-numerical issues, frequently not well documented or communicated, avoiding that they can be subjected to unconscious bias. It can address relevant factors, which may not be considered objectively. It also has the potential to lead to a semi-automation on the selection and purchase of physical commodities. The simple transparency of the results of the assignment and classification of factors can lead to excellent discussions, which can promote team growth and better management of the business.

Bibliography

- [1] I. E. Agency, "Oil Market Report," 2021.
- [2] D. Radulescu and P. Sulger, "Interdependencies between countries in the provision of energy," *Energy Economics*, pp. 1-12, 17 January 2022.
- [3] H. Banna, A. Alam, X. H. Chen and A. W. Alam., "Energy security and economic stability: The role of inflation and war," *Energy Economics*, pp. 1-14, 14 August 2023.
- [4] B. McWilliams, G. Sgaravatti, S. Tagliapietra and G. Zachmann, "How would the European Union fare without Russian energy?," *Energy Policy*, pp. 1-11, 26 January 2023.
- [5] P. Horsnell, "Oil Pricing Systems," *The Oxford Institute for Energy Studies*, 2000.
- [6] Z. Zhang, Z. Chen and L. Xu, "Artificial intelligence and moral dilemmas: Perception of ethical decision-making in AI," *Journal of Experimental Social Psychology*, pp. 1-8, 05 April 2022.
- [7] F. Franke, S. Franke and R. Riedel, "AI-based Improvement of Decision-makers knowledge in Production Planning and Control," *IFAC Papers Online*, pp. 2240-2245, 2022.
- [8] M. Francisco, "Artificial intelligence for environmental security: national, international, human and ecological perspectives," *Current Opinion in Environmental Sustainability*, pp. 1-6, 18 January 2023.
- [9] Z. Aung, I. S. Mikhaylov and Y. T. Aung, "Artificial Intelligence Methods Application in Oil Industry," in *NW Russia Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering*, Saint Petersburg, 2020.
- [10] J. Többen, "On the simultaneous estimation of physical and monetary commodity flows," *ECONOMIC SYSTEMS RESEARCH*, pp. 1-24, 2017.
- [11] M. Panella, F. Barcellona and R. L. D'Ecclesia, "Forecasting Energy Commodity Prices Using Neural Networks," *Advances in Decision Sciences*, pp. 1-26, 2012.

- [12] H. G. Huntington, "Measuring oil supply disruptions: A historical perspective," *Energy Policy*, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.12.020>, vol. 115, pp. 426-433, April 2018.
- [13] J. D. Hamilton, "This is what happened to the oil price-macroeconomic relationship," *Journal of Monetary Economics*, [https://doi.org/10.1016/S0304-3932\(96\)01282-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3932(96)01282-2), vol. 38, pp. 215-220, 1996.
- [14] D. Ferrari, F. Ravazzolo and J. Vesplignani, "Forecasting energy commodity prices: A large global dataset sparse approach," *Energy economics*, pp. 1-12, 2019.
- [15] F. K. Mohaddes and M. Raissi apud Davide, F. Ravazzolo and J. Vesplignani, "Forecasting Energy Commodity Prices: A Large Global Dataset Sparse Approach," *Energy Economics*, pp. 1-12, 08 April 2021.
- [16] R. Du, G. Dong, L. Tian, Y. Wang, L. Zhao, X. Zhang, A. L. Vilela and H. E. Stanley, "Identifying the peak point of systemic risk in international crude oil importing trade," *Energy*, pp. 1-11, 21 March 2019.
- [17] M. Youssef and K. Mokni, "Do Crude Oil Prices Drive the Relationship between Stock Markets of Oil-Importing and Oil-Exporting Countries?," *Economies*, pp. 1-22, 10 July 2019.
- [18] I. Berk and E. Çam, "The shift in global crude oil market structure: A model-based analysis of the period 2013–2017," *Energy Policy*, pp. 1-16, 5 April 2020.
- [19] M. V. Vasiljeva, V. V. P. V. Kuznetsov, N. N. Semenova, E. F. Kireeva, D. K. Goncharov and I. D. Elyakova, "Crude Oil Market Functioning and Sustainable Development Goals: Case of OPEC++-Participating Countries," *Sustainability*, pp. 1-23, 15 April 2022.
- [20] P. British, "Statistical Review of World Energy," 2021. [Online]. Available: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>.
- [21] M. Yuan, H. Zhang, B. Wang, L. Huang, K. Fang and Y. Liang, "Downstream oil supply security in China: Policy implications from

quantifying the impact of oil import disruption," *Energy Policy*, pp. 1-17, 4 November 2019.

- [22] W. Zhang, R. Wei and S. Peng, "The oil-slick trade: An analysis of embodied crude oil in China's trade and consumption," *Energy Economics*, pp. 1-9, 16 April 2020.
- [23] S. Zheng, X. Zhou, Z. Tan, H. Zhang, C. Liu, H. Hao, H. Hu, X. Cai, H. Yang and W. Luo, "Preliminary study on the global impact of sanctions on fossil energy trade: Based on complex network theory," *Energy for Sustainable Development*, pp. 517-531, 12 November 2022.
- [24] L. A. Zadeh, "Fuzzy Logic and approximate reasoning," *CALCULUS OF FUZZY RESTRICTIONS*, pp. 407-428, 1975.
- [25] T. Ross, "Fuzzy Logic with Engineering Applications," in *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, New Mexico, Wiley, 2010.
- [26] M. Niksirat, "A New Approach to Solve Fully Fuzzy Multi-Objective Transportation Problem," *FUZZY INFORMATION AND ENGINEERING*, pp. 456-467, 2 November 2022.
- [27] P. d. J. F. Pinto, "Modelo fuzzy para priorização de variáveis qualitativas de desempenho: Uma abordagem em construção naval," Rio de Janeiro, 2019.
- [28] L. Caggiani, M. Ottomanelli and M. Dell'Orco, "Handling uncertainty in Multi Regional Input-Output models by entropy maximization and fuzzy programming," *Transportation Research*, pp. 159-172, 2014.
- [29] L. B. d. Paula, A. M. Gil-Lafuente and A. d. C. Rezende, "Sustainable Management of the Supply Chain Based on Fuzzy Logic," *Cybernetics and Systems - Taylor & Francis*, pp. 1-22, 19 April 2021.
- [30] P. Ganguly, A. Kalam and A. Zayegh, "Fuzzy logic-based energy management system of stand-alone renewable energy system for a remote area power system," *Australian Journal of Electrical and Electronics Engineering - Taylor & Francis*, pp. 1-12, 19 February 2019.

- [31] C. A. N. Cosenza, F. A. Doria and L. A. M. Pessôa, “Hierarchy models for the organization of economic spaces,” *Information Technology and Quantitative Management*, pp. 82-91, 2015.
- [32] C. A. N. Cosenza, C. d. Neves and F. R. Lima, “Institution of Civil Engineers - ICE,” *A hierarchical model for biodiesel plant location in Brazil*, pp. 1-13, 29 June 2017.
- [33] P.-G. Taranti, C. A. N. Cosenza, L. A. M. Pessôa and R. A. Collazo, “coppeCosenzaR: A hierarchical decision model,” *SoftwareX*, pp. 1-4, 10 November 2021.
- [34] G. B. Andrade, L. B. Andrade, E. Conde, C. Grecco, F. L. P. Krykhtine and C. A. Cosenza, “A novel approach for complex and subjective variable valuation in the COPPE-Cosenza fuzzy model applied to crude oil trading,” *Decision Analytics Journal*, pp. 1-10, 24 Março 2023.
- [35] A. O. Michael, A. Tobi and C. Asseibichin, “Simulation of Nigerian crude oil types for modular refinery (Toppin plant) operations,” *Scientific Research Publishing*, pp. 218-232, 2022 October 2022.

PERSPECTIVAS NA TRANSFORMAÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA UTILIZANDO LÓGICA FUZZY

Resumo

Cada vez mais o mundo vem se preocupando com as emissões de gás carbônicos advindos da queima do combustível fóssil. Pois bem, diversos estudos sobre o assunto têm sido feitos no Brasil e no Mundo. No Brasil especificamente, o tema também vem gerando trabalhos importantes para elaboração de políticas públicas e tomadas de decisão importantes na sociedade. A Covid 19 promoveu uma aceleração sobre a transformação da matriz energética e o Centro-Oeste brasileiro ocupa uma posição interessante nesta dinâmica. O trabalho trata do assunto levantando os dados e tratando esses sob uma perspectiva da construção de um discurso utilizando Lógica Fuzzy. Para o discurso, foi usada o conceito de Relações Fuzzy, capaz de tratar o assunto considerando as incertezas. Por sua vez o Brasil deve estar atento às demandas internas e externas pois é visto como um grande fornecedor de combustível verde e a questão ambiental deve estar inserida na pauta e aplicada na construção de um conhecimento para a transformação energética que está ocorrendo na região Centro-Oeste brasileira.

Palavras-Chave: Lógica Fuzzy, sustentabilidade, energia, transição energética, Covid-19.

Abstract

The world is increasingly concerned about carbon dioxide emissions resulting from the burning of fossil fuels. Well, several studies on the subject have been carried out in Brazil and around the world. In Brazil specifically, the topic has also been generating important work for the development of public policies and important decision-making in society. Covid 19 promoted an acceleration in the transformation of the energy matrix and the Brazilian Center-West occupies an interesting position in this dynamic. The work deals with the subject by collecting data and treating it from the perspective of constructing a discourse using Fuzzy Logic. For the speech, the concept of Fuzzy Relations was used, capable of dealing with the subject considering uncertainties. And finally, apply this discourse in the construction of knowledge for the energy transformation that is taking place in the Brazilian Center-West region.

Key words: Fuzzy logic, sustainability, Covid-19, energy, energy transition

1. Introdução

Observar as consequências econômicas bem como os efeitos danosos que a recente extração de petróleo tem causado com as emissões de gás carbônico, nos atuais dias, se faz necessário. Até bem recentemente a ideia central era avaliar quais benefícios econômicos o mundo obtinha com todos os avanços na área de energia. Porém, atualmente se mostra necessário enxergar os efeitos danosos que o excesso de consumo energético tem causado ao meio ambiente, considerado este como parte do todo.

Os enormes benefícios do consumo do petróleo levaram a sociedade a viver em grandes centros causando aglomerações, o que no momento tem proporcionado uma nova percepção de que um exacerbado consumo desta ‘praga negra’, o petróleo, pode não só trazer benefícios, mas também efeitos indesejáveis de uma intensa densidade urbana.

Recente trabalho elaborado por GNPW Group (2023) apresenta perspectivas para uma composição renovável na matriz energética brasileira para os próximos anos. Os dados demonstram que em 2022 a geração energética instalado em fontes renováveis alcançou valores de 8,2GW, tendo como principais investimentos o aproveitamento energético via fontes solar, eólica e biomassa.

O estudo ainda indica que o setor sucroenergético tem contribuído com uma significativa participação em energias renováveis via biomassa, pois estima-se que o seu potencial energético possa superar o atual nível de consumo alcançando valores de 530 milhões de toneladas de petróleo equivalente (TEP), mais que o dobro do consumo atual somando todas as fontes de energia.

De acordo com dados do Grupo GNPW (2024) o ano de 2023 foi considerado marcante para a expansão matriz energética brasileira com investimentos em fontes energéticas renováveis, visto ter sido observado um aumento de 7 GW na capacidade instalada, tendo sido direcionados os principais investimentos para as fontes solar e eólica. Os investimentos nestas fontes energéticas renováveis estão direcionando valores de R\$ 65 bilhões, que resultarão na participação da matriz energética brasileira em fontes renováveis de 84% da capacidade energética instalada.

Todavia, apesar dos fortes investimentos o setor energético enfrenta desafios tais como a necessidade de desenvolvimento de tecnologias para armazenamento energético destas fontes renováveis. Mas projeta-se para os próximos anos contínuos investimentos na participação solar, eólica e biomassa na matriz energética brasileira, com queda no uso de hidroelétrica.

Trabalho elaborado por Lokuwaduge & Heenetigala (2016) demonstra uma tendência de grandes empresas em elaborar relatórios que retratem informações sobre seus programas de sustentabilidade. Essa tendência também é conhecida como *Global Reporting Initiative* (GRI). Porém, o fornecimento de informações confiáveis, que retratem aspectos – ambiental, social e governança - (*environment, social, governance*) ESG – que sirvam como efetivas medidas de comparação têm sido cada vez mais exigido entre as empresas. Vale destacar ainda que tem sido observada uma certa dificuldade na qualidade da divulgação dessas informações, pois o relatório ESG, apresenta uma série de diferentes critérios, o que tem dificultado a avaliação dessas informações pelos investidores/partes interessadas.

2. Fundamentação Teórica

Segundo dados da *International Energy Agency - IEA* - (2020) o mundo demonstra uma forte dependência no consumo de combustíveis fósseis, sendo 81% do total consumido de origem em carvão mineral, gás natural e petróleo. A crescente e atual percepção de que a exploração de fontes energéticas não renováveis tem sido responsável pelo aquecimento global, em torno de 1.5º Celsius, tem possibilitado um aumento na exploração de fontes energéticas renováveis, o que implica numa redução na emissão de CO₂.

Um estudo feito pela *IEA* mostrou o uso efetivo de diferentes fontes de energia no mundo. A existência de uma tendência de queda no uso de fontes fósseis como o carvão e o petróleo é percebida, por outro lado verifica-se um aumento na produção de energia a partir de fontes limpas. O total de energias renováveis ainda é pequeno se comparado ao petróleo, carvão e gás natural, fontes ainda abundantes e relativamente baratas.

Para atender a uma demanda de quase 90 milhões de barris por dia, são negociados diariamente cerca de US\$ 10 bilhões em petróleo. Conforme os dados divulgados pela *IEA* (2020), espera-se que a demanda mundial por petróleo atinja o seu ápice em 2028, chegando a volumes de 105 milhões de barris diárias, o que resultará em um aumento de aproximadamente 6 milhões de barris diárias quando comparados aos volumes de 2022. O crescimento deverá se reverter após 2023 para a gasolina e depois de 2026 para os combustíveis de transporte em geral. Essas tendências são o resultado do direcionamento para fontes de emissões mais baixas desencadeado pela crise energética global, bem como da ênfase política em melhorias de otimização energética e no rápido crescimento das vendas de veículos elétricos.

Relatório publicado pela *International Energy Agency* (2021) demonstra que diferenças entre os resultados do cenário de promessas anunciadas e o cenário de zero emissões até 2050 são gritantes, embora sejam necessários compromissos globais se o mundo realmente quiser alcançar nível de emissão zero até meados do século.

Trabalho realizado por Andrade (2003) analisou o impacto que a produção de petróleo exercia no mundo, em um momento em que a exploração do óleo e a sua demanda representavam um elemento impulsor no desenvolvimento econômico das nações. Uma série de eventos ocorrido ao longo dos anos, com graves danos ambientais, gerou elevados custos de reparação, fazendo com que os gestores passassem a ter uma nova percepção, viabilizando o uso de fontes energéticas menos poluentes com nível de eficiência que valesse a pena o seu emprego.

O surto de Covid-19 causou a maior crise global já vista em 100 anos, impactando os sistemas de saúde, economias e sociedades em todo o mundo. Diante de uma situação sem precedentes, os governos procuraram controlar a pandemia e fortalecer suas economias, seriamente atingidas. O setor de energia foi severamente desacelerando a atividade de transporte, comércio e indústria em todo o mundo. A Agência Internacional de Energia publicou em (2020) um trabalho na Global Energy Review, onde ficou demonstrado que a demanda energética global apresentou uma queda média de cerca de 25%.

As implicações da pandemia para sistemas de energia e projetadas transições para energia limpa ainda estão evoluindo, mas três áreas em particular se destacam:

1. A segurança energética continua sendo uma pedra angular de nossas economias, especialmente em tempos turbulentos;
2. A segurança elétrica e os sistemas de energia resilientes são mais indispensáveis do que nunca para as sociedades modernas;
3. As transições energéticas limpas devem estar no centro dos planos de recuperação e estímulo econômico.

Recente trabalho publicado por Chestney & Porter (2024) mostram que as emissões de gases de efeito estufa na União Europeia sofreram uma queda de cerca de 15% em 2023. De acordo com o estudo a principal queda foi observada no setor elétrico, pois ocorreu um aumento substancial no uso de energia renovável para consumo de eletricidade doméstica de cerca de 24%. Por sua vez as emissões de gases de efeito estufa relacionados à indústria apresentou queda de 7%.

Como consequência há uma tendência de alta na demanda por fontes de energia renováveis. As projeções iniciais indicam que a demanda por petróleo caia cerca de 9%; a demanda por carvão retraia cerca de 8%; enquanto, a demanda por fontes renováveis cresça 14%. O uso global de energia renovável em todos os setores aumentou cerca de 1,5% em relação ao primeiro trimestre de 2019. A geração de eletricidade renovável aumentou quase 3%, principalmente pelo início de operação de novos projetos de energia eólica e solar fotovoltaica.

Observados os possíveis comportamentos do mundo diante da situação atual, bem como pelas projeções dos grandes líderes mundiais, o Brasil deve demonstrar um comportamento mais passivo na transformação de transporte à combustão para transporte elétrico.

De acordo com Koluszuk (2024) os investimentos em usinas solares e sistemas de geração de energia em pequenas unidades no Brasil têm atingido desde 2012 valores da ordem de R\$ 195 bilhões e gerado mais de 1,2 milhões de ‘empregos verdes’. O trabalho demonstra que o ganho de escala, o aumento da eficiência e a evolução tecnológica de ponta fazem da energia solar um dos principais vetores da transformação sustentável no Brasil e no mundo.

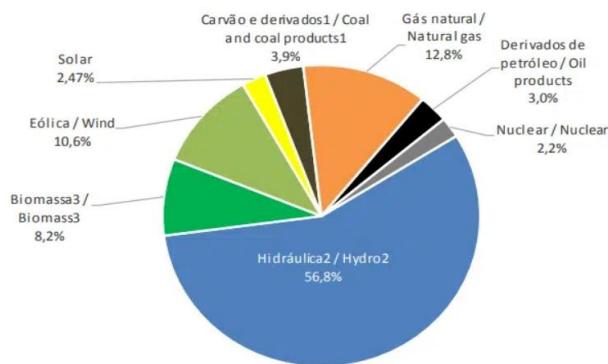


Figura 1: Oferta interna de energia elétrica. Fonte: Balança Energética Nacional 2022

De acordo com o Balanço Energético Nacional 2022 a matriz energética brasileira é composta aproximadamente por 78% de fontes renováveis contra uma média mundial que beira próximo aos 29% segundo a Agência Internacional de Energia.

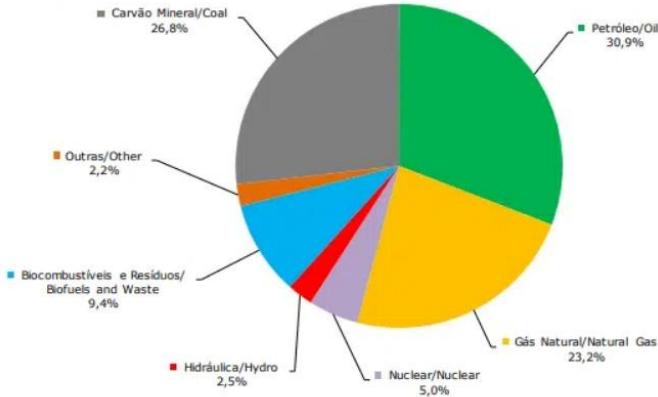


Figura 2: Oferta de energia mundial por tipo. Fonte: Balança Energética Nacional 2022

Diante de um cenário complexo e de grande incerteza, o trabalho irá tratar todo o discurso utilizando relações *Fuzzy*. As relações difusas podem ser definidas da mesma forma que para relações definidas por Cantor (binárias). Suponha então,

\tilde{R} é uma relação difusa no espaço cartesiano $X \times Y$,

\tilde{S} é uma relação difusa em $Y \times Z$, e

\tilde{T} é uma relação difusa em $X \times Z$, então a composição *Fuzzy* máximo-mínimo é definida em termos da notação teórica dos conjuntos *Fuzzy*, apresentadas abaixo nas equações 1 e 2.

$$\tilde{T} = \tilde{R} \otimes \tilde{S} \quad \text{Eq. 1}$$

$$\mu_{\tilde{T}(x,z)} = \vee_{y \in Y} (\mu_{\tilde{R}(x,y)} \wedge \mu_{\tilde{S}(y,z)}) \quad \text{Eq. 2}$$

E a composição *Fuzzy* max-produto pode ser definida em termos da teoria da função de pertinência notação como na equação 3 a seguir.

$$\mu_{\tilde{T}(x,z)} = \vee_{y \in Y} (\mu_{\tilde{R}(x,y)} \bullet \mu_{\tilde{S}(y,z)}) \quad \text{Eq. 3}$$

Desta forma, o artigo passará a analisar e discutir os dados levantados e tratados.

3. Resultados e discussões

A região Centro-oeste tem se apresentado ao longo dos últimos anos como um impulsionador da atividade econômica. Vale lembrar que o agronegócio tem possibilitado rendimentos significativos em milho, cana de açúcar e soja, dentre outros.

Tem-se observado na região centro-oeste um acréscimo na produção do biocombustível aproveitando o etanol como resultado do agronegócio, ampliando assim as oportunidades para as fontes energéticas renováveis observando a oportunidade de redução de emissão de carbono.

Dados coletados da Biodieselbr (2024) mostram que o centro-oeste possui cerca de 30 usinas de biodiesel o que demonstra a forte capacidade que a região apresenta a partir do aproveitamento do agronegócio na transição energética. A integração dessas unidades demonstra a capacidade de a região do centro-oeste diversificar as suas oportunidades a partir do agronegócio de modo a tornar a região mais sustentável colaborando de maneira mais efetiva com o projeto de emissão de baixo carbono.

A crescente atividade do agronegócio tem possibilitado o emprego, na região Centro-Oeste, de unidades de biodigestores como fonte energética sustentável. Recente trabalho elaborado por Portal do Agronegócio (2021) mostra o crescimento da produção animal e a constante procura por soluções que permitam o tratamento dos resíduos através de biodigestores como uma alternativa atrativa, pela possibilidade de produção do biogás e biofertilizantes, reduzindo poluentes e possibilitando retornos econômicos.

O período final da década de 70 possibilitou fortes investimentos do país no desenvolvimento do programa pró álcool em razão da crise do petróleo em 1973. A capacidade de produção anual de biodiesel no Brasil é de cerca de 15 milhões de litros, cabendo à região centro-oeste a participação de 45% no total, e a região sul 34%, enquanto às demais regiões 7% em cada uma delas.



Figura 3: Mapa da matriz brasileira de usinas de biodiesel. Fonte: Biodieselbr

Nota-se que a região centro-oeste, no quadro abaixo, não possui nenhuma refinaria, apesar de possuir um volume de cerca de 10 milhões de veículos, conforme

dados coletados a partir do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.
(ESTATÍSTICA, 2021)

Tabela 1: Quantidade de veículos por regiões, Fonte: Autor

regiões	qtd. Veíc. p/ região	correspondência	# refinarias
NORTE	5.785.095	5,36%	1
NORDESTE	18.841.281	17,45%	4
SUDESTE	51.998.434	48,17%	6
CENTRO- OESTE	10.167.407	9,42%	0
SUL	21.156.154	19,60%	2
	107.948.371	100,00%	13

3.1. A aplicação da Lógica Fuzzy na percepção do consumo e oferta energética brasileira

Segundo Saraiva (2000) ‘A ideia de nebulosidade não é nova. O mundo real é muito variado, na verdade é um mundo fuzzy. Fuzzy não no sentido de ser confuso, fuzzy no sentido em que vivemos, um mundo onde as pessoas precisam tomar decisões...’. Segundo o autor, foi em 1960 que Lofit Zadeh reunindo conceitos de princípios de lógica clássica bem como de pertinência de elementos, criou a lógica fuzzy. Segundo Saraiva, a nebulosidade envolve possibilidades, e é inserido nesse contexto que a lógica fuzzy se aplica diante das opções de investimentos em fontes energéticas, sejam elas renováveis ou não.

Recente trabalho elaborado por Chowdhury e Paul (2020) tratam da aplicação do modelo multicritério para tomada de decisão (MCDM). Os autores demonstram em seu trabalho uma síntese de quais critérios devem ser analisados, quando da tomada de decisão pelo modelo. Segundo os autores, devem ser considerados: (1) os facilitadores e as barreiras;(2) a avaliação e o desempenho das iniciativas ou projetos bem como os seus impactos sociais;(3) a formulação de sistemas e estratégias para as iniciativas específicas e a (4) avaliação de desempenho. Esses quatro critérios são os considerados na aplicação do modelo multicriterial de tomada de decisão.

A lógica fuzzy trabalha dentro de uma relação de compreensão onde são consideradas as relações que os elementos pertencentes a conjuntos diferentes podem produzir, quando reconhecido o grau de pertinência que um elemento de um conjunto apresenta em relação a outro elemento de outro conjunto, não se analisando se um elemento pertence a um conjunto, mas sim o grau de pertinência que um elemento

apresenta em relação a outro. Nesse sentido, o emprego do modelo MCDM tem ampla aplicação, visto que, uma vez inserido em uma análise maior, poderá ser percebido qual resultado, uma vez adotados multicritérios, se poderá obter. Em uma tomada de decisão, busca-se compreender como os elementos podem trabalhar em conjunto e produzir um resultado.

Solucionar sistemas complexos, identificar o grau de satisfação através de sentimentos, eis aí a aplicação da lógica fuzzy, segundo Moura (2016)

A percepção da lógica fuzzy, deve ser considerada diante da instabilidade na relação consumo e oferta para o segmento de petróleo. Trabalho elaborado por Porter (1980) demonstra como que a estratégia competitiva estabelecida em qualquer segmento é capaz de exercer influências tanto externas bem como internas à companhia, como também identificar os pontos fortes e fracos, e as correspondentes ameaças e oportunidades, e as respectivas expectativas e valores esperados da sociedade.

Segundo Gauto “O Brasil não tinha tantos projetos privados de refino em andamento desde a década de 1950. Existe ainda espaço para que mais unidades de refino surjam conforme a consolidação deste processo avance. Apesar da autossuficiência em petróleo já alcançada no país, somos deficitários em derivados leves, cuja importação diária tem sido da ordem de 500 a 600 mil bpd nos últimos dois anos. Os custos de manutenção e de reparo dos danos ambientais têm sido transferidos para a instalação de outras fontes energéticas em que o impacto ambiental é menor.”

Tabela 2 – Relação produção venda em milhões de barris diários – fonte Petrobras

	VOLUME DE PRODUÇÃO					VOLUME DE VENDA				
	2016	2017	2018	2019		2016	2017	2018	2019	
diesel	775	692	715	698	716	780	717	784	725	780
gasolina	444	439	393	394	356	545	521	459	378	545
óleo combustível	196	200	178	205	293	67	61	45	39	67
Nafta	54	53	67	78	106	151	134	97	82	151
Gás liquefeito de petróleo (GLP)	125	126	126	124	125	234	235	231	229	234
Querosene de aviação	100	106	110	105	57	101	101	108	119	101
Outros	193	185	176	175	175	186	171	163	166	186
TOTAL	1.887	1.801	1.765	1.779	1.828	2064	1940	1887	1738	2064

Abaixo seguem as 13 refinarias, por tipo de produção de derivados do petróleo, distribuídas no território nacional. A Petrobrás controla 13 das 17 refinarias existentes no país.

Tabela 3: Refinaria por tipo de produção dos derivados de petróleo – fonte Petrobrás

REFINARIAS	REGIÃO ATENDIDA	PRODUÇÃO
LUBNOR	Estados do norte, nordeste e Minas Gerais	asfalto (45%), óleo combustível (35%), lubrificantes (13%), diesel (7%)
RECAP	Região metropolitana de São Paulo	diesel (42%); gasolina (33%); GLP (9%)
REDUC	RJ, SP, ES, MG, BH, CE, PR, RS	diesel (25%); gasolina (14%); óleo combustível (19%); GLP (12%); combust. Aviação (4%); NAFTA (12%)
REFAP	RS, SC, PR,	diesel (47%); gasolina (20%); NAFTA (14%); GLP (7%)
REGAP	MG, ES, parte do estado do RJ	diesel (48%); gasolina (24%); combust. Aviação (4%); GLP (7%)
REMAN	AM, AC, RR, RO, AM, PA	gasolina (31%); diesel (26%); NAFTA (9%); combust. Aviação (7%); óleo combust. (15%)
REPAR	PR, SC, MS, sul do Estado de SP	diesel (47%); gasolina (27%); GLP (8%)
REPLAN	MT, MS, interior SP, sul MG, RO, AC, GO, DF, TC	diesel (46%); gasolina (21%); GLP (7%); combust. Aviação (3%)
REVAP	norte SP, Vale do Paraíba, sul MG, centro-oeste, sul RJ	diesel (32%); gasolina (12%); NAFTA (10%); combust. Aviação (10%); óleo combust. (14%)
RLAM	NE Brasil, região Norte, MG	diesel (30%); gasolina (17%); GLP (5%); óleo combust. (39%)
RPBC	capital SP, Santos, N, NE, Sul Brasil	diesel (45%); gasolina (25%); óleo combust. (13%); GLP (6%)
RPCC	RN, sul CE	óleo combust. (76%); diesel (9%); combust. Aviação (5%); gasolina (6%)
RNEST	N, NE do Brasil	diesel (50%); NAFTA (13%); Coque (8%); óleo combust. (27%)

A oferta, no estado de São Paulo, supera a demanda em produção de barris, dados os volumes considerados abaixo.

Um ponto a ser observado é a capacidade de destilação e refino instalada no estado de São Paulo, que corresponde a 913 milhões de barris diárias, o que equivale a 42% de todo o país, embora o estado de São Paulo possua 28,51% da frota nacional.

Segundo Gauto (2020) “O Brasil não tinha tantos projetos privados de refino em andamento desde a década de 1950. Existe ainda espaço para que mais unidades de refino surjam conforme a consolidação deste processo avance. Apesar da autossuficiência em petróleo já alcançada no país, somos deficitários em derivados leves, cuja importação diária tem sido da ordem de 500 a 600 mil bpd nos últimos dois anos. Os custos de manutenção e de reparo dos danos ambientais têm sido transferidos para a instalação de outras fontes energéticas em que o impacto ambiental é menor.”

Tabela 4 – Localização e capacidade média das principais refinarias controladas pela Petrobrás – Fonte Petrobras

			capac. Média	capac. Média	capac. Média	capac. Média	capac. Média
			2020	2019	2018	2017	2016
LUBNOR	Fortaleza CE		8	7	8	7	9
RECAP	Capuava SP		39	50	50	50	54
REDUC	Duque de Caxias RJ		178	190	190	178	194
REFAP	Canoas RS		129	138	135	138	148
REGAP	Betim MG		123	134	141	143	150
REMAN	Manaus AM		27	32	30	32	34
REPAR	Araucária PR		179	168	173	162	167
REPLAN	Paulínia SP		306	326	286	324	331
REVAP	São José dos Campos SP		216	185	213	208	217
RLAM	Mataripe BA		239	206	201	198	218
RPBC	Cubatão SP		143	133	140	144	142
RPCC	Guamaré RN		29	32	32	33	33
RNEST	Ipojucá PE		94	74	67	68	75
TOTAL com capac. Média			1.754	1.720	1.715	1.686	1.772

Tabela 5 – Capacidade instalada de destilação das refinarias controlada pela Petrobrás

capacidade destilação em milhões barris diários	
LUBNOR - CEARÁ	8
RECAP - SÃO PAULO	57
REDUC - RIO DE JANEIRO	239
REFAP - RIO GRANDE DO SUL	201
REGAP MINAS GERAIS	157
REMAN AMAZONAS	46
REPAR - PARANÁ	208
REPLAN - SÃO PAULO	434
REVAP - SÃO PAULO	252
RLAM - BAHIA	279
RPBC - SÃO PAULO	170
RPCC - RIO GRANDE DO NORTE	38
RNEST - PERNAMBUCO	88
TOTAL DA CAPACIDADE	2177

Investimentos na construção de novas refinarias demandam uma significativa quantidade de dinheiro, porém o atual momento sugere uma maior rentabilidade no médio e longo prazo em investimentos em fontes energéticas renováveis. O Brasil possui atualmente uma capacidade instalada de refino de cerca de 2.177 milhões de barris diários.

Tabela 6: Quantidade de veículos por unidade da federação – fonte IBGE

AC	306.258	0,28%	AL	930.933	0,86%
AP	215.330	0,20%	AM	969.722	0,90%
BA	4.506.825	4,17%	CE	3.395.382	3,15%
DF	1.934.210	1,79%	ES	2.078.459	1,93%
GO	4.203.370	3,89%	MA	1.855.570	1,72%
MT	2.322.156	2,15%	MS	1.707.671	1,58%
MG	12.053.218	11,17%	PR	8.077.413	7,48%
PB	1.409.592	1,31%	PA	2.229.234	2,07%
PE	3.223.404	2,99%	PI	1.291.415	1,20%
RN	1.391.338	1,29%	RS	7.495.615	6,94%
RJ	7.087.797	6,57%	RO	1.070.952	0,99%
RR	239.393	0,22%	SC	5.583.126	5,17%
SE	836.822	0,78%	SP	30.778.960	28,51%
TO	754.206	0,70%			
TOTAL	107.948.371				

Em razão do volume de automóveis percebe-se claramente que a região centro-oeste fica inserida em um limite regular ou pouco condicionante, visto que regiões que se mostram dentro do mesmo limite ou até inferiores, possuem unidades de refino, tal como a região Norte.

Tabela 7: Limites fuzzy para milhões de veículos consideradas as regiões do Brasil, Fonte: Autor

Limite Fuzzy	Milhões de veículos	Variável linguística Fuzzy (\hat{a})
Crítico	> 50 M	Superior
Condicionante	20 M < \hat{a} < 50 M	Bom
Pouco condicionante	10 M < \hat{a} < 20 M	Regular
Irrelevante	< 10 M	Fraco

Considerados os limites estabelecidos bem como as atuais condições de demanda, oferta, localização geográfica e condições de produção foi ao final analisada a possibilidade de instalação de unidade de refino na região centro oeste.

Tabela 8: Relação fuzzy de correspondência demanda oferta refinarias por quantidade de veículos em milhões, Fonte:
Autor

Regiões	Qtd. Veíc. por Região	Correspondência (%)	# Refinarias	Variáveis fuzzy
Norte	5.785.095	5,36	1	Irrelevante – fraco
Nordeste	18.841.281	17,45	4	Pouco condicionante - regular
Sudeste	51.998.434	48,17	6	Crítico
Centro-Oeste	10.167.407	9,42	0	Pouco condicionante - regular
Sul	21.156.154	19,60	2	Condicionante
	107.948.371	100,00	13	-

Ao atribuir valores Fuzzy a partir dos dados do volume de carros em cada região nota-se que a região centro-oeste, com 10 milhões de veículos, deve ser atribuída 2 refinarias, levando-se em consideração que, de acordo com a tabela acima, a região sul possui 1 refinaria para cada 10 milhões de veículos e a região nordeste 1 refinaria para cada 5 milhões de veículos.

4. Conclusões

Para Gauto o mercado de refino de petróleo no Brasil está passando por uma transição, talvez a maior já considerada em seus mais de 80 anos. De acordo com o autor, o Brasil pode estar atravessando um grande desafio bem como uma enorme oportunidade. A Petrobras, até bem recentemente, era a única empresa responsável por todo o refino do país, mas em 1997 ocorreu a abertura desse mercado, o que tem atraído o interesse de investimentos privados, que já iniciam uma nova fase no setor de refino.

De acordo com Gauto refinarias, de menor porte, estão sendo construídas e adaptadas pelo segmento privado, sendo uma no estado da Bahia e outra no estado de São Paulo, com vistas a atender a região do centro oeste. Essas duas refinarias possuem uma capacidade de 736 barris dia para o recôncavo baiano e a outra em São Paulo com capacidade maior de 12.500 barris dia para atender a demanda de combustíveis do Centro Oeste.

Vale lembrar que a região centro oeste possui uma demanda significativa para o consumo de combustíveis. Nesse sentido, a região também possui uma geografia que favorece a atividade econômica de agronegócio. Não menos importante, as tendências

atuais de que ocorra uma transição da cana para o milho como insumo das usinas de etanol, pode favorecer a região do centro oeste como um importante centro, não só de consumo, mas de refino, se forem dadas as condições ideais para a implementação de uma unidade de refino que adote o insumo renovável como sua principal fonte energética.

O Brasil deve voltar a sua atenção tanto para a questão da qualidade energética a ser fornecida, seja para as regiões do Centro-Oeste que apresenta uma alta demanda por novos veículos e consumo doméstico, que demandam qualidade no fornecimento energético, bem como para o conceito ESG que retrata tanto a questão ambiental, a questão social e de governança corporativa por isso o trilema. O Brasil também deve estar atento não só para as suas demandas internas bem como para a demanda externa que enxerga no Brasil um grande fornecedor de combustível verde. Dessa maneira a questão ambiental também deve estar inserido na pauta energética.

Nesse sentido, se faz necessário uma análise fuzzy das variáveis linguísticas bem como das variáveis numéricas, observando que existe uma demanda condicionante para a implementação de unidades tanto de refino para uso de material energético não renovável bem como de unidades de usina de materiais renováveis.

Trabalho divulgado por Bioenergia (2021) demonstra que o impacto dos desinvestimentos decididos pela Petrobras ganhou força a partir de 2014. A privatização das refinarias indica uma possibilidade de uma melhor exploração de diferentes fontes energéticas. A região centro-oeste do Brasil é hoje o principal produtor de commodities, como carne, soja, milho e algodão. A região tem apresentado ao longo dos anos um importante crescimento no setor do agronegócio. Enxergar a possibilidade de que a região seja beneficiada com unidades de usina e/ou refinaria para um melhor aproveitamento seja a partir de biodigestores ou até mesmo para atender ao crescimento da região a partir do consumo de fontes não renováveis, se mostra plausível.

Os baixos custos encontrados para a geração de energia através do aproveitamento do gás gerado por biodigestores, tem sido uma alternativa encontrada para o incentivo no agronegócio bem como para linhas de créditos específicas para esse fim. O uso de biodigestores incentiva a inovação e a autonomia da pecuária, preservando o meio ambiente.

A importância que a região centro-oeste demonstra como sendo ‘o pulmão de suprimento’ do agronegócio do País, faz com que ela se torne um elemento crítico para a instalação de unidades de usina de biodiesel bem como para unidades de refino, pois a

atividade do agronegócio de um país não pode exclusivamente depender da transferência de fontes energéticas para a manutenção de uma atividade essencialmente importante.

Para alcançar uma transição energética bem-sucedida, a sociedade precisa enfrentar o trilema da segurança energética, acessibilidade e sustentabilidade. A gestão do trilema energético é um dos maiores desafios do nosso tempo e requer mudanças radicais em inúmeros campos de estudo, incluindo a otimização da matriz energética e das matérias-primas existentes.

Este trabalho sugere que sejam feitas análises a posteriori com vistas a melhor indicar necessidades ou não de instalação de unidades de usinagem e refino.

5.Bibliografia

- Agency, I. E. (2020). Global Energy Review.
- Agency, I. E. (2020, June). Sustainable Recovery - World Energy Outlook Special Report.
- Agency, I. E. (2020, June). Sustainable Recovery - World Energy Outlook Special Report.
- Agency, I. E. (2021). Net zero by 2050. *A road map for the Global Energy Sector*.
- Andrade, G. B. (2003). *O impacto da produção de petróleo no desenvolvimento econômico do estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro.
- Biodiesel. (2024). *Biodiesel mapa de usinas*.
- Bioenergia, U. N. (2021, fevereiro 08). *Energia que Inova*. Retrieved from União Nacional da Bioenergia: <https://www.udop.com.br/noticia/2021/02/08/a-revolucao-da-privatizacao-do-refino-de-petroleo.html>
- Chestney, N., & Porter, M. (2024, Março). Emissões do mercado de carbono da UE caem recorde de 15,5% com aumento da energia renovável. *Reuters*.
- Chowdhury, P., & Paul, S. K. (2020). Applications of MCDM methods in research on corporate sustainability: A systematic literature review. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 385-405.
- Estatística, I. B. (2021, Julho). <https://cidades.ibge.gov.br/>. Retrieved from IBGE: <https://cidades.ibge.gov.br/>
- Gauto, M. (2020, Outubro 30). *Um novo mercado de refino*. Retrieved from epbr: <https://epbr.com.br/um-novo-mercado-de-refino/>
- GNPW Group. (2023, Fevereiro). Matriz energética brasileira poderá ser 50% renovável em 2023. Retrieved from <https://www.gnpw.com.br/energia-renovavel/matriz-energetica-brasileira-podera-ser-50-renovavel-em-2030/>
- GNPW Group. (2024, Janeiro). O estado atual da matriz energética brasileira.
- Koluszuk, R. (2024, Abril). Expansão da geração fotovoltaica. *Energia solar no Brasil chega aos 41 GW de potência instalada*.
- Lokuwaduge, C. S., & Heenetigala, K. (2016). Integrating Environmental, Social and Governance (ESG) Disclosure for a Sustainable Development: An Australian Study. *Business Strategy and the Environment*, 1-13.
- Moura, L. C. (2016, Setembro). Tecnologia fuzzy para seleção e priorização de consultores baseado no modelo Coppe-Cosenza. *Tecnologia fuzzy para seleção e priorização de consultores baseado no modelo Coppe-Cosenza*, pp. 1-172.
- Portal do Agronegócio. (2021). Biodigestores: sustentabilidade e economia. *Agronegócio*.
- Porter, M. E. (1980). *Competitive Strategy*. New York: Free Press.
- Saraiva, G. J. (2000). Lógica Fuzzy. *Ciência e Tecnologia*.