

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, CONTABILIDADE E ADMINISTRAÇÃO
DE RIBEIRÃO PRETO
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO DE ORGANIZAÇÕES

**Portfólio de P&D a partir de bases de patentes: uma adaptação da teoria de Markowitz
para a indústria de Petróleo e Gás**

MURILO JOSÉ ROSA

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Geciane Silveira Porto

RIBEIRÃO PRETO

2021

Prof. Dr. Vahan Agopyan
Reitor da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. André Lucirton Costa
Diretor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto

Prof. Dr. Jorge Henrique Caldeira de Oliveira
Chefe do Departamento de Administração

MURILO JOSÉ ROSA

Portfólio de P&D a partir de bases de patentes: uma adaptação da teoria de Markowitz para a indústria de Petróleo e Gás

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração de Organizações da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, como requisito para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Geciane Silveira Porto

Versão corrigida. A original encontra-se disponível na FEA-RP/USP

Ribeirão Preto

2021

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de pesquisa, desde que citada a fonte.

Rosa, Murilo José

Portfólio de P&D a partir de bases de patentes: uma adaptação da teoria de Markowitz para a indústria de Petróleo e Gás. Ribeirão Preto, 2021.

143 p.

Tese de Doutorado, apresentada à Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto/USP.

Área de concentração: Administração de Organizações.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Geciane Silveira Porto

1. Portfólio de P&D 2. Análise de patentes 3. Markowitz.

Dedicatória

Dedico esse trabalho aos meus pais, Maria Isabel e Mauro, que sempre cuidaram de mim com muito amor e dedicação. Aos meus irmãos, Mauro, Milena e Márcia que sempre estiveram ao meu lado em todos os momentos me apoiando e celebrando.

Dedico especialmente a minha esposa Vanessa e filha Luiza que mesmo diante de todas as adversidades que apareceram ao longo dessa jornada estiveram comigo, me incentivando com muito carinho a ir adiante e superar todos os obstáculos.

Agradecimentos

Em primeiro lugar meu agradecimento mais especial vai à minha esposa Vanessa que desde o processo seletivo para o programa de pós-graduação foi a pessoa que mais me incentivou a ir em frente e até o fim. Me apoiou de forma irrestrita. Nessa jornada aprendemos juntos as formas de superar obstáculos. Aprendemos também que algumas situações que vivemos e que a maioria das pessoas chamam de “problema” é apenas uma “situação a resolver”, e que por isso devemos ser gratos por ter saúde e coragem para enfrentar os desafios e seguir sendo “resolvedores”.

Sigo com um agradecimento especial à professora Geciane. Além do prestígio e competência inegável como profissional, me ensinou muito sobre como a orientação tem um lado humano e sensível.

Gostaria de agradecer a todos os membros do grupo de pesquisa INGTEC. Obrigado pelo apoio que deram na minha trajetória e parabéns pela dedicação que vocês têm em fazer o tema da Gestão de Inovação evoluir.

Aos funcionários da seção de pós-graduação pela dedicação em ajudar, esclarecer dúvidas e pela paciência com que tratam todos os alunos em um momento tão especial e desafiador como são o mestrado e doutorado.

Agradeço a parceria e amizade dos colegas que pude fazer durante as disciplinas que cursei na FEA-RP. Durante o curso de 9 disciplinas tive a oportunidade de interagir com pessoas fantásticas que me ensinaram muito ao longo de trabalhos em equipe, artigos e seminários. Estendo o agradecimento aos professores dessas disciplinas que elevam a qualidade do curso com maestria.

Aos colegas e amigos que me ajudaram, em especial aqueles de LDC/Biosev, Moura Lacerda, Citrosuco e Nutrien que sempre me apoiaram e foram solícitos em me ajudar no que foi necessário. Compatibilizar o ambiente empresarial corporativo com o doutorado só foi possível graças à ajuda que vocês me deram.

Evitei citar nominalmente as pessoas com receio de esquecer alguém. Espero que todos que estiveram presentes comigo nesses grupos ou momentos supracitados possam reconhecer os agradecimentos.

À banca de qualificação na figura dos professores Evandro Marcos Saidel Ribeiro e Liliam Sanchez Carrete. Ótimas reflexões foram realizadas durante esse marco da jornada.

Por fim agradeço aos membros da banca de defesa que contou com os professores Liliam Sanchez Carrete, Alexandre Aparecido Dias, Alex Fabianne de Paulo, Alceu Salles Camargo Júnior e Nelson Oliveira Stefanelli, por terem aceitado o convite e por contribuírem para o aperfeiçoamento do trabalho.

“Fall in love with the problem, not the solution”

Uri Levine, cofundador do Waze

“Os únicos derrotados são os que baixam a cabeça”

José “Pepe” Mujica, ex-presidente uruguaio

Resumo

ROSA, M. J. Portfólio de P&D a partir de bases de patentes: uma adaptação da teoria de Markowitz para a indústria de Petróleo e Gás. Tese de Doutorado. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2021.

O processo de criação de portfólios de P&D é fundamental para que empresas possam competir em mercados e sustentar seus negócios em ambientes com mudanças constantes. Junto com essa tarefa vem o desafio dos gestores em escolher as melhores tecnologias para estabelecer apostas consistentes, com chances de sucesso e baixos riscos atrelados. Para apoiar a seleção nesses critérios, esse estudo propõe uma adaptação do modelo de Markowitz a partir de base de patentes, trazendo o caso da indústria de Petróleo e Gás como aplicação. A tese traz como principal contribuição, a criação de um Método Adaptado para Identificação e Otimização de Portfólios de investimento em P&D (MAIOP) que tem como intento transformar as citações de patentes na principal variável de entrada do modelo matemático de programação não-linear de média-variância. Os resultados para o setor de Petróleo e Gás, que contaram com dados de patentes de 81 empresas ao longo do período entre 2009 e 2018, evidenciaram que a gestão dos riscos diversificáveis através da adoção do MAIOP pode ser uma opção para que gestores preocupados em diversificar suas iniciativas de P&D possam adota-lo como ferramenta dentro do processo de seleção de portfólios. A forma encontrada para compatibilizar o uso do modelo de média-variância nesse ambiente de base de patentes foi com a utilização do campo tecnológico representado pelas classificações tecnológicas presentes no *International Patent Classification* (IPC). Através dos subgrupos de IPCs foi possível estabelecer um conjunto de opções de investimento a serem analisadas pelo modelo matemático e que trouxe recomendações de investimento em IPCs a partir da criação de portfólios com a variação da condição de contorno risco. Para a aplicação em Petróleo e Gás também foi feito, além da análise do setor, 3 outras para cada um dos elos da Cadeia de Suprimento, que contemplava empresas com atuação no *upstream*, *midstream* e *downstream*. Por fim, a construção do MAIOP

também gerou uma série discussões sobre os impactos dessa adaptação frente as questões de consistência dos dados, semelhanças em relação a aplicação original no ambiente de finanças, bem como a adequada leitura dos resultados de saída no nível empresarial.

Palavras-chave: Markowitz, patentes, Petróleo e Gás, P&D.

Abstract

ROSA, M. J. Patent-based R&D portfolio: an adaptation of Markowitz theory for the Oil and Gas industry. Doctoral Thesis Project. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2021.

The creating process of R&D portfolios is critical for companies that want to compete in markets and sustain their business in a constantly changing environment. Thereat with this comes the challenge for managers in choosing the best technologies to establish consistent bets with chances of success and low risks linked. To support the selection on these criteria, the study proposes a Markowitz model adaptation from patents database, bringing the case of the Oil and Gas industry as an application. The main contribution of the thesis is the creation of a method that allows Identification and Optimization of Investment Portfolios in R&D (MAIOP). The objective was to transform patent citations into the main input variable of mean-variance nonlinear programming mathematical model. The results for the Oil and Gas sector, which included patent data from 81 companies over the period between 2009 and 2018, indicated that the diversifiable risk management by means of MAIOP might be an option. It functions as a strategic tool in the portfolio selection process when it comes to managers concerned about diversifying their R&D initiatives. Therefore, the technological field presented in the International Patent Classification (IPC) was the recognized means to reconcile the use of the mean-variance model in this patent-based environment. Due to the subgroups of IPCs, it was possible to establish a set of investment options to be analyzed by the mathematical model. The procedure brought recommendations for investment in IPCs from the creation of portfolios that provide the variation of the risk boundary condition. In the case of Oil and Gas, 3 others analysis were also carried out in addition to the sector analysis. They include the links in the Supply Chain, with comprise companies operating in the upstream, midstream and downstream. Finally, the construction of MAIOP also generated a series of discussions about the impacts created by this adaptation face of data consistency issues, similarities with the original

application in the finance environment, as well as a proper display of the results at the enterprise level.

Keywords: Markowitz, patent, Oil and Gas, R&D.

Lista de Figuras

Figura 1. Composição do risco a partir do portfólio.	47
Figura 2. Efeito da correlação no retorno e risco do portfólio.	47
Figura 3. Curva de Fronteira Eficiente.	49
Figura 4. Portfólios com n ativos e CFE.	50
Figura 5. Balanço comercial energético entre as regiões em 2017	51
Figura 6. Relação entre demanda de energia e emissões nos cenários da WEO.....	53
Figura 7. Investimentos planejados para a transição energética até 2050.....	54
Figura 8. Investimentos necessários para a completa transição energética até 2050.	54
Figura 9. Etapas da pesquisa.	59
Figura 10. Backward citation versus forward citation.....	69
Figura 11. Composição das variações de patentes a partir da consolidação de citações.....	71
Figura 12. Exemplo de aplicação de text mining em documentos de patentes para segmentação de campos tecnológicos.	72
Figura 13. Representação hierárquica da classificação da WIPO para o IPC.....	73
Figura 14. Framework do MAIOP.	76
Figura 15. Resultados da aplicação do método proposto no setor de Petróleo e Gás.	81
Figura 16. Desempenho dos 11 portfólios gerados pela base de Variação de Citações para o setor de Petróleo e Gás.	85
Figura 17. Cadeia de Suprimentos do setor de Petróleo e Gás.....	88
Figura 18. Desempenho dos 7 portfólios gerados pela base de Variação de Citações para as empresas de upstream.	94
Figura 19. Desempenho dos 7 portfólios gerados pela base de Variação de Citações para as empresas de midstream.....	101
Figura 20. Desempenho dos 7 portfólios gerados pela base de Variação de Citações para as empresas de downstream.	108
Figura 21. Rede tripartida de setor e elos, subgrupos de IPCs e empresas do setor.....	110
Figura 22. Framework com a recomendação do uso dos resultados no nível empresarial. ..	114

Lista de Quadros

Quadro 1. Resumo de trabalhos referenciais com detalhe do escopo de citação de patente...	34
Quadro 2. Vantagens e desvantagens da utilização de análise de patentes.....	36
Quadro 3. Descrição e enquadramento dos Subgrupos de IPC nos portfólios.....	82
Quadro 4. Subgrupos do processamento upstream	93
Quadro 5. Subgrupos do processamento <i>midstream</i>	99
Quadro 6. Subgrupos do processamento downstream	105

Lista de Tabelas

Tabela 1. Total de patentes por empresa e por subgrupo de IPC no processamento do setor inteiro de Petróleo e Gás.....	87
Tabela 2. Resultado dos portfólios extraídos da aplicação do MAIOP nas empresas de upstream.	92
Tabela 3. Total de patentes por empresa e por subgrupo de IPC no processamento upstream.	96
Tabela 4. Variações de citações dos subgrupos de IPCs do elo upstream.....	97
Tabela 5. Resultado dos portfólios extraídos da aplicação do MAIOP nas empresas de midstream.	99
Tabela 6. Total de patentes por empresa e por subgrupo de IPC no processamento midstream	102
Tabela 7. Variações de citações dos subgrupos de IPCs do elo midstream	103
Tabela 8. Resultado dos portfólios extraídos da aplicação do MAIOP nas empresas de downstream.....	104
Tabela 9. Total de patentes por empresa e por subgrupo de IPC no processamento downstream	107
Tabela 10. Variações de citações dos subgrupos de IPCs do elo downstream.....	109
Tabela 11. Grau de nós dos campos tecnológicos na rede tripartida.....	111

Lista de abreviaturas e siglas

AIC – Análise de Impacto Cruzado

ARS – Análise de Redes Sociais

CAPM – *Capital Asset Pricing Model*

C&T – Ciência e Tecnologia

CFE – Curva de Fronteira Eficiente

DEA – *Data Envelopment Analysis*

GAMS – *General Algebraic Modeling System*

GDXIN – GAMS Data Exchange

GEE – Gases do Efeito Estufa

GNV – Gás Natural Veicular

GPL – Gás Natural Liquefeito

HSRT – *High Speed Railway Track*

ICT – *Information and Communication Technologies*

IEA – *International Energy Agency*

IPC – *International Patent Classification*

INPADOC – *International Patent Documentation*

LAN – *Local Area Networks*

LI– Limite Inferior

LS – Limite Superior

LWD – *Log While Drilling*

MAIOP – Método Adaptado para Identificação e Otimização de Portfólios

MINOS – *Modular In-core Nonlinear Optimization System*

MPT – *Modern Portfolio Theory*

OPEP – *Organização dos Países Exportadores de Petróleo*

P&D – *Pesquisa & Desenvolvimento*

SLP – *Search Link Pair*

SNP – *Search Node Pair*

USPTO – *United States Patent and Trademark Office*

VAR – *Value at Risk*

VPL – *Valor Presente Líquido*

WAM - *Wavelength Division Multiplexing*

WEO – *World Energy Outlook*

WIPO – *World Intellectual Property Organization*

Sumário

INTRODUÇÃO.....	25
1.1 Pergunta de pesquisa.....	28
1.2 Objetivos.....	29
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	32
2.1 Sobre o uso de análise de patentes para identificação tecnológica.....	32
2.2 Formação de portfólio em P&D.....	37
2.2.1 Diversificação e sinergia no portfólio de P&D.....	39
2.3 Teoria de Markowitz e modelo média-variância.....	40
2.3.1 Formulação do modelo de média-variância.....	42
2.3.2 Condições e recomendações para o uso do modelo média-variância.....	44
2.3.3 A relação risco e retorno na tomada de decisão.....	46
2.3.4 A Curva de Fronteira Eficiente: o problema de programação não-linear.....	48
2.4 Sobre o setor energético.....	51
2.4.1 Setor de Petróleo e Gás.....	55
3 METODOLOGIA.....	58
3.1 Natureza da pesquisa.....	58
3.2 Etapas da pesquisa.....	58
4 RESULTADOS.....	67
4.1 <i>Framework</i> do MAIOP.....	67
4.2 Aplicação do método no setor de Petróleo e Gás.....	77
4.2.1 Aplicação do MAIOP nos elos da Cadeia de Suprimento de Petróleo e Gás.....	88
4.2.1.1 Aplicação nas empresas que atuam no elo <i>upstream</i>	90
4.2.1.2 Aplicação nas empresas que atuam no elo <i>midstream</i>	97
4.2.1.3 Aplicação nas empresas que atuam no elo <i>downstream</i>	103

4.2.2	Rede das Curvas de Fronteiras Eficientes da Cadeia de Suprimento de Petróleo e Gás	109
4.3	Discussão dos resultados	112
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS E LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	123
	REFERÊNCIAS.....	128
	ANEXOS.....	140

INTRODUÇÃO

Mudanças tecnológicas constantes, o processo de globalização e a concorrência por mercado entre as empresas e países tornaram o assunto da Gestão da Inovação protagonista na tomada de decisões das organizações. Os esforços de inovação, cada vez mais realizados por meio da colaboração entre empresas, governos e instituições de pesquisa, viraram peça fundamental na sustentabilidade dos negócios. Com efeito, as organizações se deparam com o desafio de identificar oportunidades para empregar e acelerar o processo de inovação, antecipando tendências ou se preparando para enfrentar ameaças de produtos ou serviços concorrentes.

Os setores econômicos sobrevivem sob a incerteza permanente de modificações estruturais de mercado que podem surgir a partir de inovações disruptivas. Novidades em produtos ou serviços com grande repercussão como o das formas de armazenagem de energia da *Tesla Powerwall* (BULMAN, 2015), do modelo de negócio com *streaming* de vídeo da *Netflix* (PISANO et al. 2015) e das plataformas que conectam profissionais e usuários (*peer-to-peer*) *Uber* e *Airbnb* (EINAV et al. 2016), simbolizam uma nova era de negócios com empresas ocupando posições pioneiras no “oceano azul” de mercados emergentes e com significativo potencial lucrativo.

Uma importante e tradicional indústria que enfrenta esse ambiente incerto é o da energia, principalmente no recorte de combustíveis fósseis de Petróleo e Gás, o qual está fortemente ameaçado no médio e longo prazo por uma onda crescente de mudanças da matriz energética global, impulsionada por restrições previstas de oferta no futuro (OWEN et al. 2010) e por pressões de demanda a favor de energias renováveis e com menor impacto ambiental (OZKALE et al., 2017). Não obstante, as empresas desse setor têm buscado realizar ações de entrada no ramo de energias renováveis com investimentos direcionados e planos de aquisição e fusão (ZHONG e BAZILIAN, 2018). Tal posicionamento tem reflexos na projeção de suas estratégias de futuro, inclusive em termos de inovação.

Em paralelo as transformações, tanto os especialistas empresariais quanto os pesquisadores acadêmicos buscam desenvolver ferramentas, procedimentos e métodos para viabilizar o anseio de prever e prospectar o futuro das tecnologias ao seu redor. A premissa básica desse processo é a de que as organizações tomam decisões difíceis e complexas sobre

investir nas melhores e mais promissoras tecnologias a partir de recursos finitos que devem ser alocados da forma mais produtiva e rentável possível. Para tanto, criam diretrizes em formato de planos de Pesquisa & Desenvolvimento (P&D). Um plano de P&D é uma estratégia de negócios em que as organizações estabelecem uma combinação de investimentos em projetos de inovação para atender objetivos ligados ao crescimento de mercado, expansão de negócios e aumento de lucros (MIKKOLA, 2001).

Cabe diferenciar que a tarefa de prospectar tecnologias e criar portfólios de projetos dentro do plano de P&D pode ser realizada em momentos distintos, afinal os objetivos de cada uma são conceitualmente diferentes. Enquanto a prospecção se dá na identificação das oportunidades, a criação do portfólio de P&D traz consigo a decisão de seguir em frente com determinadas oportunidades, investindo recursos e apostando no desenvolvimento e maturação das tecnologias selecionadas.

Com base no desafio de apoiar a seleção de projetos que integram um plano de P&D, inúmeras ferramentas foram aplicadas na área de Gestão de Inovação com o intento de prospectar e selecionar tecnologias emergentes, com suas vantagens de aplicação e limitações, intrínsecas (LICHTENTHALER, 2004). Método Delphi, Simulações, Análise de Cenários, *Roadmaps* Tecnológicos, Painéis de Especialistas, Análise de Curva S e Análise de Patentes são algumas ferramentas citadas pelo autor em sua obra que reúne também uma avaliação do uso de cada em setores diferentes. Intepe et. al (2013) elencam inúmeras formas de identificar e prever novas tecnologias resultados das pesquisas de diferentes autores ao longo das últimas duas décadas. Técnicas como Simulação de Monte Carlo, Método Delphi e Análise de Impacto Cruzado (AIC) estão consolidadas e são destaque nessa literatura. Vale salientar que embora existam diferentes técnicas disponíveis, existem critérios a serem analisados, como por exemplo, confiabilidade e disponibilidade de dados, adaptação do método à *expertise* do analista e o custo de implementação (PHILLIPS e LINSTONE, 2016).

Diversos métodos e ferramentas já migraram de “aplicações originais” para uso em Gestão da Inovação, mais especificamente para a seleção de portfólios de P&D. Carlsson et al (2007) e Bhattacharyya et al (2011) utilizaram a abordagem da lógica *fuzzy*, que teve entre suas primeiras aplicações um projeto com melhorias operacionais em linhas de trens no Japão (KOSKO e ISAKA, 1993), e então foi usada pelos autores para determinar portfólios desafiando os modelos tradicionais de Valor Presente Líquido (VPL). Linton et al (2002) aplicaram a Análise por Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis - DEA*) no apoio para a avaliação e “ranqueamento” de portfólios de P&D. Já Beaujon et al (2000) utilizaram a

formulação de um problema de otimização a partir de programação linear com relaxamento, atribuindo uma alocação de fundos (similar ao clássico “*napsack problem*”) com base em vários critérios no formato de restrições. Tanto DEA quanto Programação Linear em termos gerais, tem raízes no ambiente da logística militar, considerando como marco a elaboração do método *Simplex* de Dantzig (1982) durante a Segunda Guerra Mundial.

A partir deste contexto de modificações de aplicações originais, surge na presente tese a proposta de caminhar com mais uma adaptação. Nesse caso a aplicação original é advinda do campo financeiro, na qual Markowitz (1952) desenvolveu de forma pioneira a teoria moderna da seleção de portfólios para aplicação em títulos (ativos). O autor auferiu notoriedade por sua contribuição na área de finanças — inclusive ganhou o prêmio Nobel de Economia em 1990 — ao analisar riscos e retornos de ativos financeiros, trazendo para o contexto de seleção as medidas estatísticas de variância e desvio-padrão, representando o risco, e média (valor esperado) como uma *proxy* do retorno do investimento. O modelo desenvolvido a partir de sua teoria também é conhecido como “modelo média-variância” por se utilizar desses dois elementos. Entre seus pontos de discussão ficaram conhecidas as questões de diversificação e a relação entre risco e retorno, trazendo na época uma nova vertente teórica para o processo de avaliação de carteiras de investimentos.

A ideia principal dessa tese é desenvolver um método para adequar a teoria de Markowitz com o modelo “média-variância” ao campo da Gestão de Inovações, buscando como resultado final um portfólio de investimentos em P&D. Com efeito, vale mencionar que o resultado de uma aplicação na área financeira será diferente de uma feita em P&D, pois projetos de P&D não possuem preços de mercado como títulos financeiros, somente escopo, valor de investimento e em alguns casos estimativas de risco e potencial de retorno. A forma proposta nesse estudo se dá com a utilização de bases de patentes, e suas citações ao longo do tempo. Importante contextualizar que patentes criam uma rota tecnológica a partir de suas citações, ou seja, quando um documento novo de patente é criado ele cita uma ou mais tecnologias anteriores que são referências para o autor da invenção atual. Essa referência, do ponto de vista da patente que recebe a citação, representa sua usabilidade, originalidade e relevância na influência sobre novas tecnologias (HARHOFF e HOISL, 2007). As citações então passam a ser uma *proxy* para o retorno que determinada tecnologia apresenta ao longo dos anos, isto é, quanto maior e mais crescente o número de citações, maior a chance real de sucesso da tecnologia no mercado.

Para estabelecer a relação de prospecção tecnológica e patentes com a teoria de Markowitz, usa-se a premissa de que há uma correlação na citação das patentes em determinado

período, acreditando-se que as tecnologias presentes (em qualquer ano) influenciam em momentos similares a criatividade dos inventores e conseqüentemente suas invenções. Isto é, considera-se como premissa que não há independência total entre as informações de patentes de uma base que representa um mesmo setor, por exemplo. Tal condição é fundamental para que haja diversificação na formação de um portfólio.

Declarada essa importante consideração, trabalha-se na tese o conceito de que os gestores responsáveis pela seleção do portfólio de P&D tem opções diferentes para escolha e que cada par de iniciativas de investimento em análise tem um impacto cruzado entre si que afeta o resultado e o risco do portfólio como um todo. Por esse motivo, há a necessidade de sempre avaliar de maneira sistêmica o portfólio, mesmo quando houver uma simples mudança de opção de investimento. Quando um gestor optar, por exemplo, por duas iniciativas que possuem comportamentos iguais ao longo do tempo em termos de quantidade de citações recebidas, abre-se a possibilidade de que haja um risco intrínseco de não diversificação tecnológica. Nessa ideia, tais gestores que tomarem as decisões de ir com o *mainstream* tecnológico, apostando sempre em iniciativas de comportamento similar, podem estar envolvidos em “bolhas” que essencialmente representam riscos ao negócio.

Esta pesquisa traz como contribuição inédita o desenvolvimento de uma adaptação em otimização do portfólio de P&D, com base na teoria de Markowitz, podendo representar uma opção válida para que especialistas e pesquisadores considerem novos elementos, como a diversificação de riscos não-sistêmicos na tarefa não trivial de seleção e montagem dos portfólios.

1.1 Pergunta de pesquisa

Como articular um método, a partir da união da teoria moderna de portfólio de Markowitz e bases de patentes, para direcionar a formação de portfólios de investimentos em P&D?

1.2 Objetivos

Propor um **Método Adaptado para Identificação e Otimização de Portfólios (MAIOP)** para investimento em P&D a partir da teoria de Markowitz e com o uso de bases de patentes.

Os objetivos específicos que derivam do proposto geral são:

- a) Desenvolver as adaptações necessárias às bases de dados de patentes para que o modelo matemático decorrente da teoria de Markowitz, e que faz parte do MAIOP, possa ler as entradas e gerar os resultados de otimização.
- b) Aplicar o MAIOP no setor de Petróleo e Gás como forma de demonstrar na prática quais resultados são produzidos e como eles podem ser interpretados por pesquisadores interessados em sua adoção.
- c) Além de aplicar o MAIOP no setor de Petróleo e Gás, tem-se como um outro objetivo específico desdobrar essa aplicação nesse mesmo setor, porém com base nos três recortes da Cadeia de Suprimentos de forma segregada: *upstream*, *midstream* e *downstream*.
- d) Analisar quais campos tecnológicos, representados na aplicação de Petróleo e Gás por subgrupos de IPCs (classificação de patentes *International Patent Classification (IPC)* da *World Intellectual Property Organization – WIPO (2019)*), aparecem com maior frequência tanto nos diferentes portfólios gerados a partir da variação da condição de contorno “risco”, quanto nos diferentes recortes processados (todo o setor ou partes da Cadeia de Suprimentos).
- e) Propor uma forma de representar os resultados, que são gerados com a aplicação do MAIOP, para que gestores responsáveis por construir portfólios possam direcionar os investimentos de P&D. Essa proposta se justifica pois os resultados do MAIOP são concebidos no nível de campo tecnológico (que no caso da aplicação em Petróleo e Gás se dará pela representação de subgrupos de IPCs) e portanto precisam ser traduzidos posteriormente para o nível empresarial para que cada organização possa fazer uma leitura específica de como efetuar as alocações de investimentos de acordo com as propostas de portfólio geradas.

A presente tese está estruturada em cinco capítulos, sendo o primeiro introdutório com a explicação do tema que circunda a tese, o problema de pesquisa e todos os objetivos que devem ser alcançados na pesquisa. No segundo capítulo são levantadas as referências necessárias para o entendimento do estado da arte sobre os temas em estudo. Já no terceiro capítulo são apresentados os aspectos metodológicos da pesquisa, para compor o arcabouço e escopo da pesquisa. No quarto capítulo explora-se o resultado do MAIOP e discussão; e por fim no quinto capítulo são feitas as considerações finais.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Nesse capítulo serão abordados quatro principais temas que fundamentam a tese. O primeiro diz respeito ao uso análise de patentes. O segundo diz respeito as discussões sobre formação de portfólio de P&D em empresas. Já o terceiro trata do desenvolvimento da teoria de Markowitz com suas contribuições no campo da gestão de portfólios. Por fim, é apresentada uma revisão concisa do setor energético, com maiores detalhes para Petróleo e Gás, de forma a situar a indústria que será objeto da aplicação do MAIOP.

2.1 Sobre o uso de análise de patentes para identificação tecnológica

Identificar tendências tecnológicas com potencial de ascensão de mercado e direcionar investimentos a partir disso pode ser uma forma altamente eficiente para empresas obterem retornos financeiros e até mesmo podem abrir novas áreas da Ciência e Tecnologia (C&T) para estudo. Não obstante, dominar essa identificação é de interesse de diversos *stakeholders* como agências governamentais, que buscam financiar novas ideias e incentivar o P&D em seus domínios geográficos; empresas que buscam alcançar posição de destaque em segmentos de mercado emergentes; instituições de fomento e financiamento, que buscam retornos para investimentos em tecnologias; e instituições de pesquisa que necessitam planejar os seus desenvolvimentos futuros de forma a otimizar seus recursos de forma econômica.

Conhecer o ambiente e contexto em que se trabalha o tema da tendência tecnológica é de grande valor pois a partir disso é possível planejar a obtenção de licenças a custos menores; depositar licenças em países que ainda não receberam depósitos para garantir direitos de exploração; iniciar parcerias e colaborações de P&D; compreender o ciclo de vida de uma tecnologia; ou modificar o rumo do próprio investimento em P&D (FIRAT et al., 2008).

Entre as possíveis ferramentas para o monitorar o caminho da tecnologia (MISHRA et al. 2002), a análise de patentes tem sido reconhecida como uma técnica analítica valiosa, utilizada para identificar a tecnologia de forma quantitativa e crítica (CHANG et al 2012 e CHOI et al. 2007). Sendo assim, a análise de patentes pode fornecer informações decisivas aos

gestores de P&D, de políticas tecnológicas e/ou da estratégia tecnológica nas empresas (WARTBURG et al 2005, YOON & PARK 2004). Além disso, o número de publicações e patentes em comum são um indicador muito importante para medir cooperações entre atores (INZELT, 2004).

O uso de bases de patentes atrelados a busca de tendências tecnológicas tem uma longa tradição de acordo com Verspagen (2005). De acordo com Abbas et. al (2014), a atividade de analisar patentes pode ser feita de diferentes formas e com propósitos diversos, entre os quais elencam-se:

- a) Determinar a novidade em patentes.
- b) Analisar tendências das patentes.
- c) Prever a evolução tecnológica em um domínio particular.
- d) Realizar o planejamento estratégico da tecnologia.
- e) Extrair informação de patentes para identificar as contravenções.
- f) Determinar análise de qualidade das patentes voltadas para as tarefas de P&D.
- g) Identificar patentes promissoras.
- h) Mapear rotas tecnológicas.
- i) Identificar vácuos tecnológicos e *hotspots*.
- j) Identificar concorrentes tecnológicos.

Em geral, as ferramentas de análise de identificação de tendência baseiam-se no estudo das citações de patentes. O pressuposto básico da análise de citações de patentes é que uma patente citada várias vezes tende a ter maior impacto tecnológico, gerando mais desdobramentos e/ou tecnologias complementares. Essencialmente, trata-se de um método quantitativo que almeja reproduzir informações qualitativas (TRAJTENBERG, 1990; NARIN, 1994; WALLIN, 2005).

Em um documento de patente consta quais estudos científicos e outras patentes foram citadas os quais contribuiriam para o desenvolvimento da tecnologia, o que fornece com maior riqueza de informações como se deu o desenvolvimento da tecnologia. Ao se interconectar estas patentes por meio da relação de citação entre elas, é possível então ter, com relativa acurácia, uma linha de desenvolvimento da tecnologia em questão (MICHEL e BETTELS, 2001).

A patente é então passível de citação por patentes criadas posteriormente que tenham certa correlação de conteúdo, sendo a ligação que as unem simples, já que, a patente só é citada uma única vez. Além disso que a transferência do conhecimento é unidirecional. A rede de citações de patentes consiste então de grupos de patente relacionadas, e a troca de citações entre

estes grupos evolui com o tempo e revela tendências tecnológicas. A visualização em forma de rede fornece uma melhor compreensão do desenvolvimento e difusão de tecnologias, e suas análises podem ser feitas a partir nós críticos, trajetórias relevantes ou da rede como um todo (CHOH e SHIH, 2011).

Além da descrição detalhada da inovação, as patentes contêm informações cadastrais sobre o inventor e, o mais importante para o presente estudo, os documentos de patentes contemplam referências a patentes anteriores, isto é, citações de outras patentes. De acordo com Verspagen (2005) tais citações servem para:

- a) Estabelecer uma barreira legal indicando quais partes do conhecimento descrito no documento de patente estão sendo pleiteadas pelo inventor e quais estão atreladas a questões já contestadas em outras patentes.
- b) Indicar que as referências a patentes anteriores foram de alguma forma úteis para o desenvolvimento de novos conhecimentos.

A interpretação desse segundo ponto de serventia da citação é um forte subsídio para o uso de base de patentes com o objetivo de prospectar tecnologias. O encadeamento das citações em última instância permite o “mapeamento de ideias” ao longo do tempo em determinado campo tecnológico. É razoável considerar que a conexão de várias citações em determinado campo tecnológico forma uma estrutura de rede que mostra as influências tecnológicas dos inventores.

A pertinência do uso das citações de patentes como informação de entrada para ferramentas que se propõe a trabalhar a identificação tecnológica pode ser demonstrada em vários trabalhos publicados nas últimas décadas. No Quadro 1 estão listadas as referências de artigos que utilizaram como parte de sua metodologia as citações de patentes e que tiveram mais de cem citações bibliográficas feitas por outros artigos¹, denotando certo grau de importância como estudos relevantes para a literatura no tema.

Quadro 1. Resumo de trabalhos referenciais com detalhe do escopo de citação de patente

Artigo referência	Escopo de citação de patente	Contribuição do estudo
Yoon e Park, 2004	Aplicação em tecnologias relacionadas <i>Wavelength Division Multiplexing (WDM)</i>	Difusão do estudo de rotas tecnológicas com definição de

¹ Indexados no *ISI Web of Science* e *Scopus*. Consulta feita em dez/2017.

	com a construção de rotas tecnológicas. Base <i>United States Patent and Trademark Office</i> (USPTO) com informações entre período de 1987 a 2001.	campos tecnológicos a partir de <i>text-mining</i> .
Verspagen, 2005	Aplicação em tecnologias relacionadas a células de combustíveis com a construção de rotas tecnológicas. Base <i>United States Patent and Trademark Office</i> (USPTO) com informações entre período de 1860 a 2002.	Difusão do estudo das rotas tecnológicas com a adoção de métricas de rede para a Análise de Redes Sociais (ARS) a partir da análise de patentes.
Choi et al., 2007	Aplicação em <i>Information and Communication Technologies</i> (ICTs) com uso de Análise de Impacto Cruzado (AIC). Base <i>United States Patent and Trademark Office</i> (USPTO) com informações entre período de 2000 a 2004.	Uso pioneiro da AIC associada a análise de patentes para identificação de tecnologias emergentes.
Chang et al., 2009	Aplicação em tecnologias relacionadas a <i>business method technologies</i> com a construção de rotas tecnológicas. Base <i>United States Patent and Trademark Office</i> (USPTO) com informações entre período de 1993 a 2006.	Estabelece indicadores para encontrar as patentes que apresentam posição crítica ou central em algum campo tecnológico. Buscam identificar essas patentes dentro da rota tecnológica.
Fontana et al., 2009	Aplicação em tecnologias de <i>Local Area Networks</i> (LANs) com a construção de rotas tecnológicas. Base <i>United States</i>	Uso de medidas de estrutura de conectividade como o <i>Search Path Link</i> (SPL) e o <i>Search Node Pair</i> (SNP) para identificar os

	<i>Patent and Trademark Office</i> (USPTO) com informações entre período de 1963 a 2002.	caminhos mais relevantes em determinado contexto tecnológico.
--	--	---

Fonte: Elaborado pelo autor.

Estudos mais recentes como o de Yoon et al. (2015) e Linares e Porto (2016) também corroboram com a consolidação da análise de patentes para identificação tecnológica, atestando para a importância dessa aplicação quantitativa nos estudos que envolvem a Gestão da Inovação.

A análise de patente veio a contribuir com um papel de identificação tecnológica que antes era feito por técnicas majoritariamente qualitativas, em que um ou mais atores opinavam sobre o desenvolvimento tecnológico a partir de métodos que se apoiavam na experiência de especialistas (CHOI et al., 2007).

Existem ainda vantagens e desvantagens na utilização de análise de patentes para identificação tecnológica que precisam ser pontuadas para que interessados em estudos desse tipo saibam os potenciais e as limitações ou fragilidades dessa aplicação. No Quadro 2 estão listadas e referenciadas algumas das principais características em cada um desses dois pontos.

Quadro 2. Vantagens e desvantagens da utilização de análise de patentes

Vantagens	Referência(s)
Disponibilidade por longos períodos	Griliches (1990)
Proveem informações detalhadas das tecnologias	Verspagen (2005)
Auxiliam o entendimento de esforços colaborativos	Almeida (1996)
Uso em métodos quantitativos	Choi et al. (2007)
Classifica o conhecimento tecnológico	Trajtenberg (1990)
Desvantagens	
Desafio para a prospecção pois são informações sobre o passado.	Choi et al. (2007)
Lacuna temporal entre depósito e concessão.	Porto e Kannebley Jr (2012)
Citações de patentes não levam em consideração as diferenças de qualidade nas inovações	Griliches (1990); Choe et al. (2013)

Mudanças nas leis que regulam patentes podem dificultar análises de tendências ao longo dos anos	Choi et al. (2007)
--	--------------------

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, cabe ressaltar que a análise de tecnologias normalmente requer uma perspectiva de longo prazo que corresponde com o tempo que é necessário para uma nova tecnologia seja efetivamente incorporada nos produtos e serviços de determinada organização e que principalmente traga os retornos projetados contra o investimento (CHRISMAN e PATEL, 2012). Contudo, a análise de mercado feita pelas organizações é normalmente de médio prazo, principalmente por refletir o período que os líderes da organização conseguem identificar as maiores oportunidades ou ameaças e então desenvolver planos de ação (BAYSINGER et al. 1991). Esse conflito retrata a importância de avançar em novos métodos e ferramentas que possam endereçar *insights* ou complementar análises de forma a apoiar tomadores de decisão de forma mais ágil e transparente.

2.2 Formação de portfólio em P&D

De acordo com Beaujon et al. (2000), a tarefa de alocar recursos para atividades de P&D pode ser vista de forma análoga a um gestor financeiro que precisa encontrar as melhores oportunidades de investimento. Nos dois contextos, os objetivos são os mesmos de construir uma carteira balanceada que traga os melhores retornos e que equacione bem os riscos inerentes. Assim como em qualquer investimento em títulos financeiros, a diversificação é um elemento desejável para absorver eventuais oscilações de mercado; na montagem estratégica de um portfólio de P&D ocorre o mesmo. Como afirmam Bekkum et al. (2009), os gestores responsáveis por influenciar ou propor novos projetos de P&D para o portfólio empresarial devem se ater as questões dos riscos envolvidos no sucesso das tecnologias, sempre observando se as apostas (exploratórias por natureza) estão concentradas em determinado campo. Prencipe e Tell (2001), corroboram com essa visão, acrescentando a ideia de que a diversificação do portfólio de P&D faz com que a empresa garanta opções de médio e longo prazo, mesmo no caso de insucesso ou baixa aceitação antecipada de parte das tecnologias que ela aposta. Na visão desses autores, a organização também tenta capturar as sinergias que derivam do processo de inovação para a construção de portfólios mais resilientes no futuro.

A questão do portfólio de P&D também está relacionada com a sustentabilidade da empresa, já que a empresa pode classificar os projetos de acordo com a vantagem competitiva já existente da firma (NORLING, 2000). De maneira mais ampla, as definições do plano de P&D, como destaca Mikkola (2001), devem estar em alinhamento com os objetivos de negócios, sejam eles voltados às tecnologias ligadas ao *core business* da empresa ou ainda na diversificação daquilo que a empresa faz, com tecnologias diferentes e que abram espaço para novos negócios. O autor elenca alguns pontos que devem ser levados em consideração pelos líderes e gestores responsáveis em avaliar e criar o portfólio empresarial de P&D:

- a) Especificação e detalhamento dos projetos de P&D, seja na etapa de desenvolvimento ou na visão futura de produto ou serviço.
- b) Classificação de acordo com o potencial de geração de valor associado à vantagem competitiva.
- c) A gestão dos projetos com respeito a risco, dinâmica e balanceamento do portfólio.
- d) Critérios de priorização dos projetos para execução.
- e) Oportunidades de aumento e expansão de vantagens competitivas.

Outro fator interessante atrelado aos objetivos dos gestores que selecionam as iniciativas de P&D é o de buscar entender comportamentos dos consumidores frente a inovação, por exemplo, fazendo movimentos que antecipem tendências (FRIAR e BALACHANDRA, 1999; ZHANG et al. 2016). Em ambientes com produtos de curto ciclo de vida, faz-se necessário estratégias de P&D que acompanhem o ritmo acelerado das mudanças (TOLONEN et al. 2015). Esse é o caso de setores com alta carga de tecnologia embarcada em produtos (*e.g.* fabricantes de celulares, computadores, etc.).

Há também o *driver* do fortalecimento dos conceitos de marca que apoiam a estratégia de *marketing* de empresas como a Apple, por exemplo. Esses são os efeitos indiretos da inovação, que não podem ser desprezados, pois tem potencial de contribuir para a visão que os consumidores constroem sobre a marca da empresa. Organizações que divulgam conceitos de pioneirismo e desafio ao “*status quo*” tecnológico, devem estar amparadas em portfólios de P&D arrojados e disruptivos para que haja coesão entre a estratégia de *marketing* e a oferta de produtos e serviços (ZHANG et al. 2016).

De uma forma mais tradicional, é razoável também a busca pelo valor futuro dos projetos que compõe o plano de P&D. Usufrui-se do conceito de valor esperado através de cálculos financeiros de retorno, que podem ou não comprovar a viabilidade de investimento. Essa avaliação é importante, pois as métricas de viabilidade financeira geralmente têm peso

significativo entre os critérios que influenciam e habilitam a escolha dos tomadores de decisão (EVANS et al. 2009).

Como parte da estratégia de negócios, há por fim gestores que buscam entender o valor das patentes geradas ao final de cada projeto do portfólio de P&D (BESSEN, 2002). Nesse mérito, é possível questionar se algumas empresas buscam criar um portfólio de novos produtos (com novas tecnologias) ou ainda se buscam somente criar um portfólio de futuras patentes que lhes será útil para exploração comercial.

Importante salientar que mesmo havendo essa estratégia comercial não há consenso sobre o cálculo do valor de uma patente. Há pesquisadores que tentam identificar o valor de um portfólio de patentes já existente para aferir a precisão e qualidade de técnicas e decisões passadas. De acordo com Grimladi et al. (2018), as dimensões mais comuns para essas avaliações de valor passam por análise do número de *claims*; número de citações; abrangência do mercado; posicionamento estratégico; e potencial importância econômica.

2.2.1 Diversificação e sinergia no portfólio de P&D

A literatura que trata do tema de P&D cobre de maneira fragmentada a discussão sobre concentração ou diversificação dos projetos de inovação (VAN BEKKUM et al. 2009).

Cabe também a discussão sobre o papel da empresa buscar a diversificação do portfólio de P&D como estratégia. Isso exige discutir o *trade-off* não trivial entre alocar recursos em suas competências centrais ou linhas de atuação mais tradicionais que podem ajudar na manutenção dos diferenciais competitivos ou investir em novas linhas de produtos e serviços que não estão dentro do escopo atual de negócios.

A linha de manter o portfólio de P&D com projetos que seguem a atuação das competências centrais tem o benefício de alavancar potenciais sinergias já que toda curva de desenvolvimento é acelerada em função do conhecimento acumulado na empresa (VAN BEEKUM et al. 2009).

Do outro lado, buscar projetos que representem apostas mais distantes daquilo que é atuação da empresa também traz o benefício de mitigar riscos. As empresas que se restringem a inovar sempre dentro do mesmo modelo de negócio apenas buscando inovações incrementais em seus produtos e serviços podem sofrer com inovações disruptivas. Esse ambiente fechado para novas linhas de inovação representa uma “bolha tecnológica” que em alguns casos representa a sustentabilidade do negócio. É possível elencar casos de empresas que não

migraram o portfólio de P&D e sofreram grandes perdas econômicas e até mesmo o encerramento de suas atividades (HO e CHEN, 2018).

O caminho para diversificação do portfólio de P&D pode ser ambíguo para as empresas no que tange a gestão dos riscos envolvidos. Se por um lado se manter dentro das competências centrais traz um conforto maior no curto prazo com um risco maior no longo prazo em função de disrupções que são incertas, apostar em projetos de P&D que diferem das competências centrais pode trazer riscos de curto prazo, fruto de um não aprofundamento das tecnologias sob domínio. De acordo com Van Bekkum et al. (2009), as empresas devem buscar uma proposta de equilíbrio, em que se pesem tais impactos.

Há autores que advogam que o Estado também desempenha o papel de incentivar a migração de portfólio de P&D das empresas através de políticas públicas (HIDALGO et al. 2007). Por exemplo, o esforço das nações em combater as mudanças climáticas, passa por criar formas de alterar a matriz energética mundial, elaborando mecanismos de incentivo ao desenvolvimento de tecnologias renováveis. Nesse caso, o que se busca são inovações que possam catalisar o uso em larga escala e de forma econômica das fontes de “energia verde” (STUCKI e WOERTER, 2018).

2.3 Teoria de Markowitz e modelo média-variância

De acordo com Markowitz (1952) o processo de formar um portfólio de investimentos pode ser dividido em duas partes, sendo que a primeira se inicia com a análise do perfil do investidor e vai até o ponto em que são construídas as expectativas de desempenho futuro dos títulos analisados pelo mesmo. Já a segunda parte diz respeito a formação de opinião sobre o futuro projetado e, por fim, a escolha dos títulos que integram tal portfólio. Ao formular essa proposta, Markowitz (1952) parte do princípio básico que cada investidor deve lidar com duas incertezas no momento em que está formando seu portfólio, o retorno e o risco.

Para representar esses dois fatores, Markowitz (1952) utilizou o conceito de que há um valor esperado para o retorno e que existem variâncias (ou desvios padrões) para entender o risco de cada investimento. A partir dessa ideia, o tomador de decisão buscará de forma racional sempre maximizar o retorno e minimizar o risco. Uma premissa importante do trabalho de Markowitz (1952) é a de que os decisores tem um comportamento alinhado com o conceito de

simetria de riscos e que a partir de uma distribuição normal (com função de utilidade quadrática) os mesmos passariam a ter, em algumas situações, aversão ao risco.

De acordo com Reilly e Brown (2012), o modelo formulado por Markowitz é baseado em várias premissas a respeito do comportamento do investidor no campo financeiro:

- a) Investidores consideram cada alternativa de investimento como uma representação de distribuição provável de retornos esperados em dado período.
- b) Investidores maximizam expectativas de “utilidade” em um período, e sua curva de utilidade demonstra utilidades marginais decrescentes de “bem-estar”.
- c) Investidores estimam o risco de seu portfólio com base na variabilidade dos retornos esperados.
- d) Investidores baseiam suas decisões somente nas expectativas de retorno e risco, então suas curvas de utilidade são funções de retorno esperado e variância esperada (ou desvio padrão).
- e) Para um dado nível de risco, investidores preferem riscos maiores do que menores. Similarmente, para um nível de retorno esperado, investidores preferem menos risco do que mais risco.

Em última instância, o trabalho de Markowitz (1952) foi disruptivo por evidenciar a importância da diversificação de investimentos, contrariando a corrente de pensamento da época, representado por grandes autores como Loeb (1935) e Keynes (1939) *apud* Bruni, Fuentes e Famá (1998). De acordo com Loeb (1935), cada investidor deveria buscar dentro de suas opções, investimentos que tivessem retornos reconhecidamente acima da média, preferencialmente concentrando seus recursos em no máximo quatro títulos. O autor pregava ainda que a diversificação era indesejável a partir do momento em que houvesse confiança na carteira estabelecida e que pensar em diversificação era simplesmente a admissão de quem não se sabia o que fazer ou de que haveria muito esforço para obter um desempenho médio. Keynes (1939) *apud* Bruni, Fuentes e Famá (1998) corroborava à visão predominante na época defendendo que o tomador de decisões deveria concentrar seus investimentos o máximo possível, fazendo escolhas consideradas seguras. Tal autor não recomendava a diversificação partindo da premissa de que era mais fácil obter confiança em poucas empresas do que realizar o esforço em obter informações sobre várias empresas para formar um portfólio amplo.

A partir do trabalho de Markowitz (1952), a literatura criou o termo Teoria Moderna de Portfólio (ou do inglês *Modern Portfolio Theory* (MPT)) para trabalhos que trouxessem os conceitos de risco e retorno atrelados. Sharpe (1963) buscou simplificar o modelo desenvolvido

por Markowitz, apresentando um modelo de índice único, reduzindo a massa de dados necessária para processamento da carteira ótima. O trabalho de Sharpe (1963) junto com os trabalhos de Treynor (1962), Lintner (1965) e Mossin (1966), inspirados em Markowitz, ainda foram responsáveis por fundar o modelo de avaliação de ativos (do inglês *Capital Asset Pricing Model* (CAPM)). Esse modelo é responsável por determinar a taxa de retorno adequada de um ativo, para gestores tomarem decisões sobre a adição de ativos a um portfólio bem diversificado.

Há também trabalhos na literatura que utilizam o modelo de Markowitz fora do campo financeiro, com claras adaptações. Bruckner e Schiefer (2000) apresentam em seu estudo um modelo para gestão e armazenagem de dados, com considerações sobre incertezas na qualidade dos dados, adaptando o MPT. O trabalho de Crowe e Parker (2008) utiliza a teoria desenvolvida por Markowitz para construir modelos de reflorestação e restauração ambiental para os cenários futuros de alteração climática. Aerts et al. (2015) faz uso do portfólio para administrar os riscos da gestão hídrica, analisando também cenários incertos de mudança climática.

2.3.1 Formulação do modelo de média-variância

O objetivo da teoria de Markowitz (1952) é o obter a gestão de carteiras de investimentos, através da seleção de portfólios eficientes, que maximizem os retornos esperados (em termos financeiros), dado um nível de risco de acordo com o perfil do investidor. Utiliza-se como premissa que o investidor seja avesso ao risco, ou seja, se há dois investimentos com o mesmo retorno esperado, porém com riscos diferentes, o investidor preferirá sempre aquele com menor risco.

A fórmula mais simples para representar a taxa de retorno de um portfólio de investimentos, aplicando as propriedades de esperança matemática, pode ser escrita de acordo com a Equação (1). Vale considerar que os pesos w atribuídos a uma combinação de ativos no portfólio será igual a um, como evidencia a Equação (2).

$$E[R_p] = E[w_1 \cdot R_1 + w_2 \cdot R_2 + w_3 \cdot R_3 + w_n \cdot R_n] \quad (1)$$

$$w_1 + w_2 + w_3 + w_n = 1 \quad (2)$$

Onde:

R_p = Taxa de retorno prevista de um portfólio em determinado período.

w_n = Coeficiente que representa o peso w do ativo n no portfólio de investimentos.

R_n = Taxa de retorno R do ativo n em determinado período.

n = Número de ativos considerados para a composição do portfólio.

Considerando que o valor esperado de uma combinação linear de variáveis aleatórias é a própria combinação linear dos seus valores esperados, podemos reescrever a Equação (1) conforme a Equação (3).

$$E[R_p] = w_1 \cdot E[\tilde{R}_1] + w_2 \cdot E[\tilde{R}_2] + w_3 \cdot E[\tilde{R}_3] + w_n \cdot E[\tilde{R}_n] \quad (3)$$

De forma mais simplificada, podemos representar a mesma fórmula da Equação (3) pela Equação (4).

$$R_p = E[R_p] = \sum_{i=1}^n w_i \cdot E[R_i] \quad (4)$$

Na Equação (4) não há ainda previsão de qualquer risco para o retorno dos ativos. Para medir os riscos de um portfólio, Markowitz (1952) propôs a utilização da variância estatística, que por definição é uma medida de dispersão em torno de um valor esperado.

Adicionando esse elemento na equação, tem-se a Equação (5) com a primeira representação simples de um portfólio de ativos arriscados.

$$S[R_p] = S[\sum_{i=1}^n w_i \cdot E[R_i]] \quad (5)$$

Onde:

S = Variância da variável aleatória do retorno para os ativos do portfólio.

A partir da inclusão do risco é possível estabelecer algumas deduções conforme Equação (6), Equação (7), Equação (8) e Equação (9). Para essas equações utilizou-se a simplificação para dois ativos, de modo a exemplificar o cálculo.

$$S^2[R_p] = S^2[w_1 \cdot R_1 + w_2 \cdot R_2] = E[R_p - \tilde{R}_p]^2 \quad (6)$$

$$E[R_p - \tilde{R}_p]^2 = E[(w_1 \cdot R_1 + w_2 \cdot R_2) - (w_1 \cdot \tilde{R}_1 + w_2 \cdot \tilde{R}_2)]^2 \quad (7)$$

$$E[R_p - \tilde{R}_p]^2 = E[w_1 \cdot (R_1 + \tilde{R}_1) + w_2 \cdot (R_2 + \tilde{R}_2)]^2 \quad (8)$$

Usando as propriedades que dizem que a soma de uma série de retornos é igual a soma dos valores esperados por cada retorno (Equação 9) e que o valor esperado de uma constante multiplicada por um retorno é exatamente igual a constante multiplicada pelo seu retorno esperado (Equação 10), é possível transformação a Equação (8) na Equação (11)

$$E(\tilde{X} + \tilde{Z}) = E(\tilde{X}) + E(\tilde{Z}) \quad (9)$$

$$E(y \cdot \tilde{X}) = k \cdot E(\tilde{X}) \quad (10)$$

$$S^2[\tilde{R}_p] = E[R_p - \tilde{R}_p]^2 = S^2(w_1 \cdot \tilde{R}_1) + S^2(w_2 \cdot \tilde{R}_2) + 2 \cdot w_1 \cdot w_2 \cdot E[(R_1 - \tilde{R}_1) \cdot (R_2 - \tilde{R}_2)] \quad (11)$$

Como a covariância é calculada pela Equação (12), podemos substituir parte da Equação (11) para obtermos a Equação (13) e depois a Equação (14) e Equação (15).

$$cov(\tilde{R}_1, \tilde{R}_2) = E[(R_1 - \tilde{R}_1) \cdot (R_2 - \tilde{R}_2)] \quad (12)$$

$$S^2[\tilde{R}_p] = S^2(w_1 \cdot \tilde{R}_1) + S^2(w_2 \cdot \tilde{R}_2) + 2 \cdot w_1 \cdot w_2 \cdot cov(\tilde{R}_1, \tilde{R}_2) \quad (13)$$

$$S^2[\tilde{R}_p] = w_1^2 \cdot S^2(\tilde{R}_1) + w_2^2 \cdot S^2(\tilde{R}_2) + 2 \cdot w_1 \cdot w_2 \cdot cov(\tilde{R}_1, \tilde{R}_2) \quad (14)$$

$$S^2[\tilde{R}_p] = (w_1 \cdot S^2(\tilde{R}_1))^2 + (w_2 \cdot S^2(\tilde{R}_2))^2 + 2 \cdot w_1 \cdot S(\tilde{R}_1) \cdot w_2 \cdot S(\tilde{R}_2) \cdot \rho_{1,2} \quad (15)$$

Retomando a simplificação da Equação (5) em que se considera n ativos na carteira é possível formular finalmente a Equação (16) como sendo a equação que representa o risco total da carteira.

$$S^2[\tilde{R}_p] = \sum_{i=1}^n (w_i \cdot S(\tilde{R}_i))^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i \cdot w_j \cdot cov(\tilde{R}_i, \tilde{R}_j) \quad (16)$$

Em casos onde a carteira é formada por ativos totalmente independentes (Equação (17)) é possível ainda simplificar a Equação (16), conforme a Equação (18).

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i \cdot w_j \cdot cov(\tilde{R}_i, \tilde{R}_j) = 0 \quad (17)$$

$$S^2[\tilde{R}_p] = \sum_{i=1}^n (w_i \cdot S(\tilde{R}_i))^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{(S(\tilde{R}_i))^2}{n} \quad (18)$$

Com base na formulação da Equação (18) já é possível concluir que a medida que o número de ativos de determinada carteira aumenta, a variância (ou simplesmente o risco) da mesma diminui. Essa conclusão será explorada no próximo tópico que trata da relação entre risco e retorno na tomada de decisão (tópico 2.3.3).

2.3.2 Condições e recomendações para o uso do modelo média-variância

Existem algumas condições e recomendações que são colocadas por autores que estudam e desenvolvem o modelo de média-variância e que são importantes de serem listadas.

Base independente: tida como uma premissa para que haja de fato uma gestão dos riscos não-sistêmicos, essa condição, que inclusive aparece dentro do trabalho de Markowitz (1952) rege sobre o comportamento dos ativos. Para que ocorra a otimização com mitigação de risco é fundamental que os ativos reajam a direcionadores ou indexadores diferentes e tenham comportamentos de retorno distintos (ELTON e GRUBER, 1995). Na hipótese contrária e considerando uma dependência completa em que há uma perfeita correlação positiva ($\rho = +1$), qualquer ideia de distribuição de investimento com a criação de portfólio, mesmo que em ativos com denominações diferentes, traria o risco da alocação em um único ativo.

Comportamento estatístico normal: quando a condição de comportamento normal não é atendida na base de retornos, o desvio padrão como uma medida completa de desvio da média não é confiável, implicando em uma possível estimativa errônea da variável que trata o risco no modelo. A premissa de normalidade é assumida somente nos casos em que a distribuição a partir da média é simétrica entre os lados, ou seja, sem inclinações para a direita ou esquerda.

Período da base de dados: o modelo trata do conceito de que há um período fixo no horizonte para que seja feita a otimização e que os resultados serão sensíveis a essa entrada. Os estudos que aplicam esse modelo variam em relação a composição de período dos dados. Não há na literatura nenhuma recomendação explícita no que tange uma composição ideal de períodos para a formação da base.

Hipótese de Mercados Eficientes: retrata que os mercados são eficientes e que todos os investidores tomam decisões racionais apenas a partir do acesso integral as informações sobre retornos esperados, variâncias e covariâncias dos ativos.

2.3.3 A relação risco e retorno na tomada de decisão

Quanto maior a diversificação, menor o risco. Hoje como axioma, esse postulado é importante e retrata justamente a noção de que uma carteira concentrada em um (ou poucos ativos) é mais arriscada do que uma mesma com diversos ativos.

Os autores Evans e Archer (1968) construíram a Equação (19) para explicar o conceito de riscos associados a carteira de investimentos a partir do trabalho de Markowitz.

$$\bar{y} = B \cdot \left(\frac{1}{x}\right) + A \quad (19)$$

Onde:

\bar{y} = risco médio da carteira de ações.

x = número de ativos que compõe a carteira.

B = parcela de risco atrelada a carteira.

A = parcela de risco independente (sistêmica).

Na visão dos autores que formularam a Equação (19), existem dois tipos de riscos associados a um portfólio de investimentos. Aquele representado por “A” na equação é o risco sistêmico que não pode ser diversificado por estratégias de alocação de recursos. Tal parcela de risco usualmente é representada por flutuações de variáveis macroeconômicas, como por exemplo, taxas de juros nacionais, inflação, situação política e especulações de mercado. Já o parâmetro “B”, representa a parcela de risco que está diretamente relacionada a quantidade de ativos x da carteira. Brito (1981) demonstrou em seu estudo que uma carteira bem balanceada e com ganhos associados a diversificação são compostas por 8 até 10 títulos, e que com mais de 15 títulos o retorno começa a ser reduzido. Tal resultado é semelhante aquele apresentado por Elton e Gruber (1995) que encontram uma taxa de redução do risco, representada pela variância, com valores decrescentes após a adição de mais ativos em uma que já contava com 14 ações de empresas americanas.

Essa conclusão evidencia que a restrição do risco é atuante, ou seja, a cada reposicionamento de risco a menor os ganhos tendem a ser inferiores. Como mostra a Figura 1, o risco total pode ser composto por esses dois parâmetros, sendo que o risco sistemático é o risco mínimo que todo tomador de decisão tomará invariavelmente.

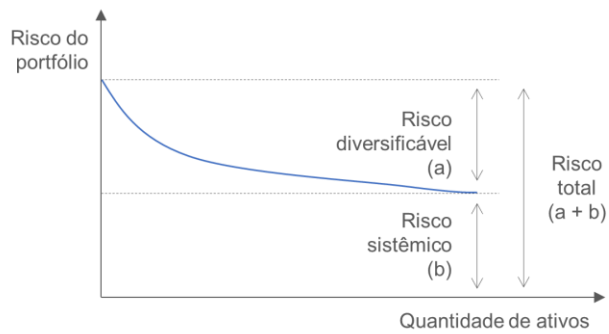


Figura 1. Composição do risco a partir do portfólio.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Evans e Archer (1968).

A correlação também tem um papel importante já observado na formulação de Markowitz (1952). De acordo com o autor, para casos em que há total independência de comportamento ao longo do tempo, ou seja, sem correlação (Equação (17)), o risco total do portfólio será igual a somatória do risco de cada um dos títulos considerados. Para correlações negativas (próximas a -1), o risco será ainda menor, pois o comportamento de variação dos ativos ao longo do tempo é distinto, garantindo uma segurança maior no formato de efetiva diversificação para o investidor. Já para o caso em que as covariações são positivas (próximas a 1), o risco é mais elevado em função da baixa diversificação. Na Figura 2 estão representadas essas relações para um ambiente simplificado de dois ativos, com dados simulados.

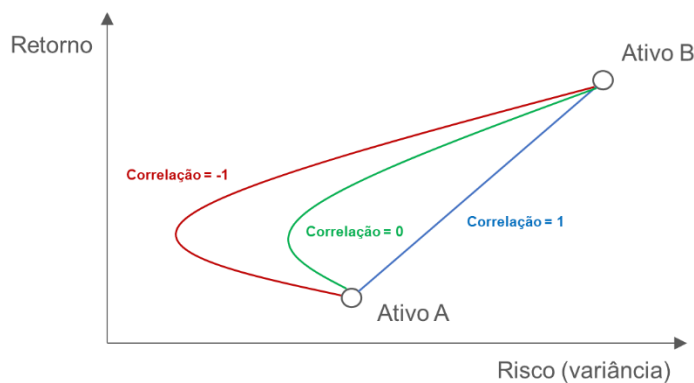


Figura 2. Efeito da correlação no retorno e risco do portfólio.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Outro ponto relevante é o entendimento do perfil do investidor, no qual as preferências são dadas em relação ao “apetite ao risco”, que pode ser demonstrado como uma função utilidade entre risco e retorno. Não obstante, deve-se considerar a racionalidade do tomador de

decisão, que sempre buscará uma lógica para equacionar as maximizações de retorno e minimizações de risco.

Relacionando ao universo das patentes, podemos considerar que quanto mais uma patente recebe citações, melhor seu potencial de sucesso e desempenho em termos de contribuição desta tecnologia e perspectivas de retorno. No oposto, quanto menor for o número de citações, maior o risco de a tecnologia não ter seguimento e, portanto, maior a chance da invenção não se tornar de fato uma inovação relevante para o desenvolvimento de futuras tecnologias. Isto é, o risco nesse caso se refere ao investimento em uma tecnologia que pode ou não seguir influenciando outras invenções e com isso manter chances maiores de sobrevivência (resiliência) ao longo do tempo.

Reitera-se que outras metodologias que utilizam bases de patentes também se apoiam na importância da citação das patentes para justificar sua robustez, tais como o trabalho de prospecção tecnológica com Análise de Impacto Cruzado desenvolvido por CHOI et al. (2007), o estudo de *Roadmap* tecnológico de Yu e Zhang (2017) ou o supracitado trabalho de Rotas Tecnológicas por ARS de Verspagen (2005).

2.3.4 A Curva de Fronteira Eficiente: o problema de programação não-linear

O conceito de Curva de Fronteira Eficiente (CFE) resume a aplicação de Markowitz com a formulação da otimização na relação risco e retorno. A CFE traz as melhores combinações de opções, em termos de retorno, para diferentes níveis de risco, formando, portanto, uma curva que pode ser representada graficamente.

De forma simplificada para duas opções de investimento é possível visualizar graficamente o comportamento do retorno para cada avanço no risco configurado pelo tomador de decisão (Figura 3). Nessa análise simplificada entre os dois ativos, nota-se que há dois padrões de linha na curva. A parte pontilhada representa as opções “subótimas” em que a escolha por uma parcela maior (ou total) do ativo A é preterida (dominada) entre opções de parcelas maiores do ativo B, representadas na parte contínua da curva. A transição entre os dois padrões representa justamente o início da CFE, em que o tomador de decisão busca entender qual o nível de satisfação ou utilidade que o risco lhe trará em termos de retorno.

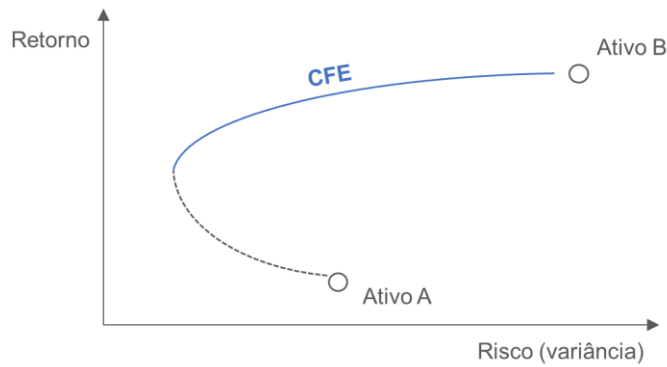


Figura 3. Curva de Fronteira Eficiente.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Markowitz (1952).

Para que seja possível determinar matematicamente essa curva ótima, utiliza-se um conjunto de função objetivo e restrições. Uma importante simplificação é passível na Equação (16), com a transcrição da fórmula em forma de matrizes conforme a Equação (20)

$$S^2[\tilde{R}_p] = [w_1, w_2, w_3 \dots w_n] \cdot \begin{bmatrix} Cov(\tilde{R}_1, \tilde{R}_1) & \dots & Cov(\tilde{R}_1, \tilde{R}_n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Cov(\tilde{R}_n, \tilde{R}_1) & \dots & Cov(\tilde{R}_n, \tilde{R}_n) \end{bmatrix} \cdot [w_1, w_2, w_3 \dots w_n]^{transposta} \quad (20)$$

Com essa simplificação, a função objetivo e as restrições podem ser expressas na Equação (21), Equação (22), Equação (23) e Equação (24).

Função objetivo:

$$Maximizar \sum_{i=1}^n (w_i \cdot \tilde{R}_i) \quad (21)$$

Sujeito às seguintes restrições:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (22)$$

$$0 \leq w_i \leq 1 \quad (23)$$

$$[w_1, w_2, w_3 \dots w_n] \cdot \begin{bmatrix} Cov(\tilde{R}_1, \tilde{R}_1) & \dots & Cov(\tilde{R}_1, \tilde{R}_n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Cov(\tilde{R}_n, \tilde{R}_1) & \dots & Cov(\tilde{R}_n, \tilde{R}_n) \end{bmatrix} \cdot [w_1, w_2, w_3 \dots w_n]^{transposta} \leq \alpha \quad (24)$$

Onde:

α = Risco máximo que o tomador de decisão está disposto a assumir para maximizar o retorno da carteira.

Na Equação (21), o objetivo principal é maximizar o retorno da soma produto entre os retornos médios e os pesos. No caso hipotético de não haver restrições, o otimizar sempre escolherá a opção de investimento que representa o maior valor esperado.

Já a Equação (22) e Equação (23) permitem que o somatório das escolhas percentuais (pesos) de cada opção seja ou cem por cento e, portanto, que cada opção esteja dentro do intervalo zero e um. Já a Equação (24), limita o risco de acordo com o desejado pelo tomador de decisão. Pelo fato dos termos ligados a variância representarem uma parcela de equação quadrática, há necessidade de utilização de algoritmo não-linear na programação.

Elton et al. (2004) abordam a CFE de outra forma, minimizando o risco com base em progressões de retorno. Tal forma de cálculo com a inversão dos eixos, se aplicada, traz os mesmos resultados de portfólio que as formuladas adotadas no conjunto entre a Equação (20) a (23).

Conclui-se que com a simulação dos diversos riscos é possível obter a CFE, bem como a melhor combinação de opções para cada nível incremental de variância. Na Figura 4 estão representados os portfólios e a CFE em um caso com vários ativos.

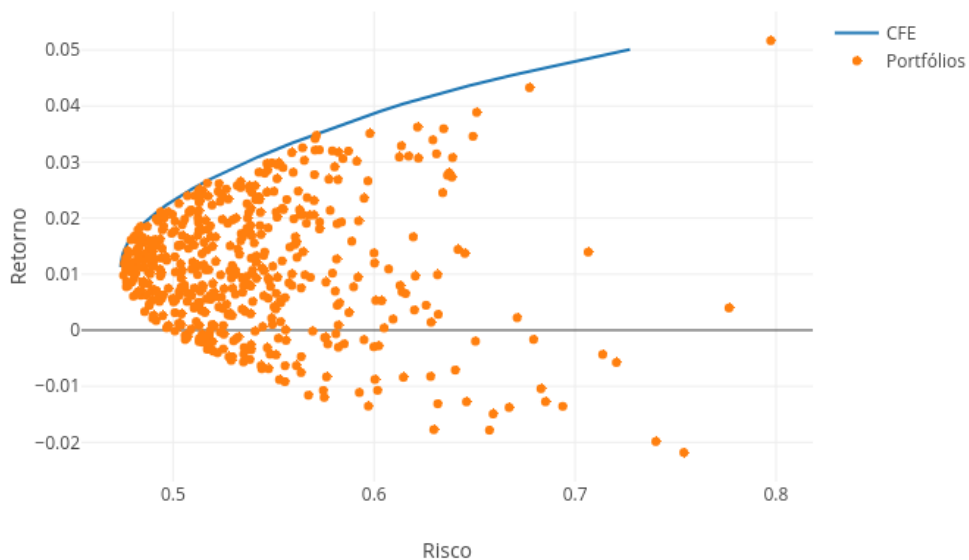


Figura 4. Portfólios com n ativos e CFE.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Markowitz (1952).

Os pontos laranjas na Figura 4 são portfólios montados randomicamente, enquanto somente aqueles portfólios que estão posicionados na linha azul correspondem à CFE, com as devidas condições de contorno relacionadas a otimização da relação risco *versus* retorno.

2.4 Sobre o setor energético

Mais de 80% da energia que o mundo consome vem dos setores que exploram reservas de carvão, petróleo e gás (ABAS et al., 2015). O que reflete a forte dependência da sociedade em recursos fósseis, em especial dos países desenvolvidos e em desenvolvimento, grandes demandantes de energia. A figura 5 mostra o saldo comercial em 2017 de produção e consumo das regiões que ofertam e demandam energia, respectivamente. Essa relação comercial, calculada pelo Enerdata (2018), deixa evidente que os países da Europa e Ásia são atualmente os grandes importadores de energia global.

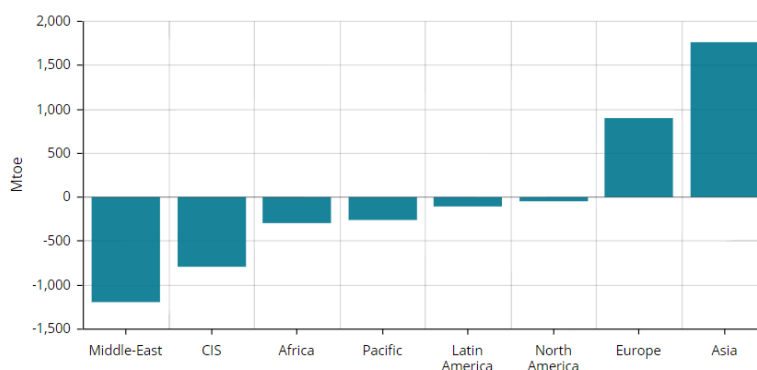


Figura 5. Balanço comercial energético entre as regiões em 2017

Fonte: Enerdata (2018).

O perfil das companhias que trabalham nesse setor é concentrado em grandes multinacionais que já estão consolidadas no mercado. Porém nos últimos tempos empresas menores, como por exemplo, *startups*, vem ganhando destaque por reunir recursos financeiros e humanos capazes de inovar e trazer novidades principalmente em energias alternativas as fontes fósseis (GHOSH e NANDA, 2010). Não obstante, tais atividades de inovação estão cada vez mais ameaçando as estruturas do mercado em função do desenvolvimento tecnologias disruptivas. As novidades em armazenagem de energia, por exemplo, estão em foco, tornando custos antes proibitivos, aceitáveis em termos de utilização em larga escala (McCLOSKEY, 2015).

Essa transformação, do fóssil para o renovável, ocorre em razão das pressões geopolíticas que favorecem a diminuição da queima de combustíveis de fontes não renováveis.

Um importante exemplo é o da conferência de Paris em 2015 que selou o acordo entre países para redução de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) globais (WEO, 2018). Como afirma o relatório da WEO, em todas as regiões do globo as escolhas políticas dos governos determinarão a forma do sistema energético do futuro. O novo horizonte para os próximos anos mostra uma ampliação na matriz energética com a descentralização da produção. O chamado *commodity business* com a exploração fóssil passa a dar mais espaço para a transição energética com os novos investimentos e maior utilização de tecnologias eólicas, solares e de biomassa, principalmente. A IEA (*International Energy Agency*), em seu relatório anual de longo prazo para o segmento de energia, chamado *World Energy Outlook* (WEO) 2018, elabora seu diagnóstico e projeções com base em três cenários (WEO, 2018):

- a) *New Policies Scenario*: o tripé das variáveis aumento populacional, crescimento econômico e maior urbanização contribuirá para o crescimento da demanda de petróleo. Já a implementação das diretrizes das políticas ambientais tem o papel oposto nessa trajetória;
- b) *Current Policies Scenario*: considera somente a adoção de políticas regulatórias vigentes até 2018, o que evidencia a força por demanda de energia;
- c) *Sustainable Development Scenario*: tem como intuito alcançar os objetivos associados à redução das emissões de GEE. Ressalta-se que o pico de demanda de petróleo em quase todo o planeta antes de 2030, juntamente com uma trajetória persistente de redução dos preços do óleo no médio e longo prazos.

O gráfico da Figura 6 evidencia os três cenários citados acima com base em dois critérios, a demanda por energia no eixo das ordenadas e as emissões de CO₂ relacionadas à energia. Onde observa-se a discrepância do cenário 2 (cenário atual, em vermelho) para o cenário 3 (cenário de desenvolvimento sustentável, em verde) nas duas variáveis analisadas: cenário 3 com projeção de demanda bastante abaixo do cenário 2, com um nível de emissão consideravelmente menor.

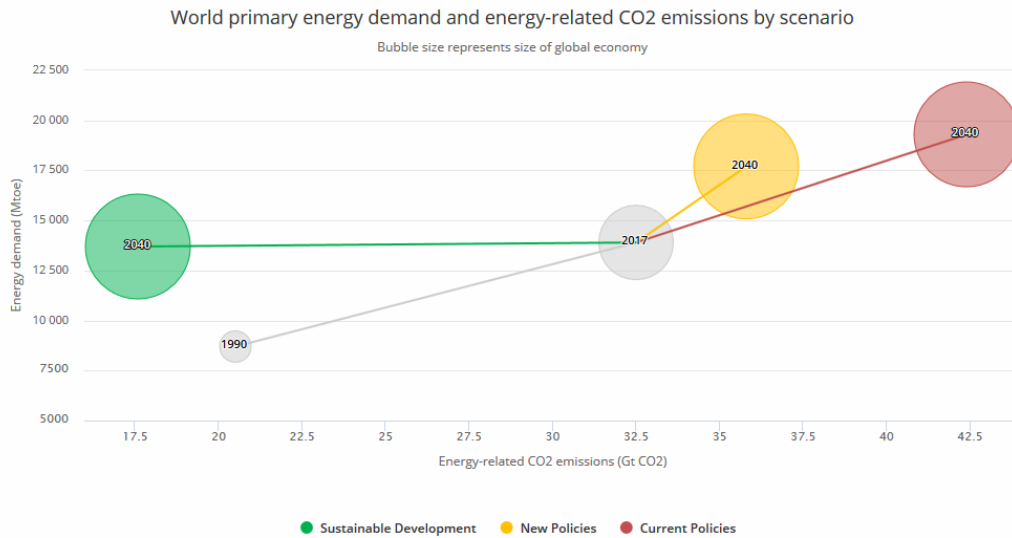


Figura 6. Relação entre demanda de energia e emissões nos cenários da WEO.

Fonte: WEO (2018).

A gestão energética desempenha papel relevante no desenvolvimento econômico dos países (VALENTE et al., 2021). A sustentabilidade da indústria de energia é um dos fatores mais importantes para as economias emergentes (QI et al, 2020).

As empresas de energia precisam estar atentas as questões ambientais para que possam obter recursos a um custo menor (HEEDE, 2014). De acordo com Dincer e Yüksel (2019) fontes renováveis de energia devem ser prioridade para a geração de eletricidade.

Comparando-se os investimentos planejados para a completa transição energética até 2050 (Figura 7) e o que seria necessário para tal conversão (Figura 8), observa-se um gap de 15 trilhões de dólares, segundo dados do IRENA (2020).

Investimentos Planejados em Transição Energética até 2050

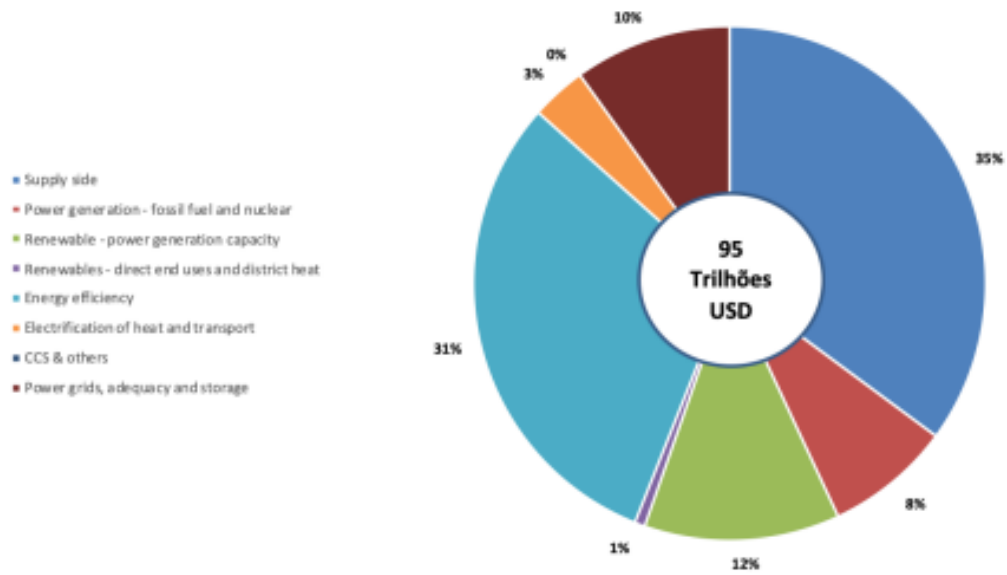


Figura 7. Investimentos planejados para a transição energética até 2050.

Fonte: IRENA (2020)

Investimentos Necessários para a Completa Transição Energética até 2050

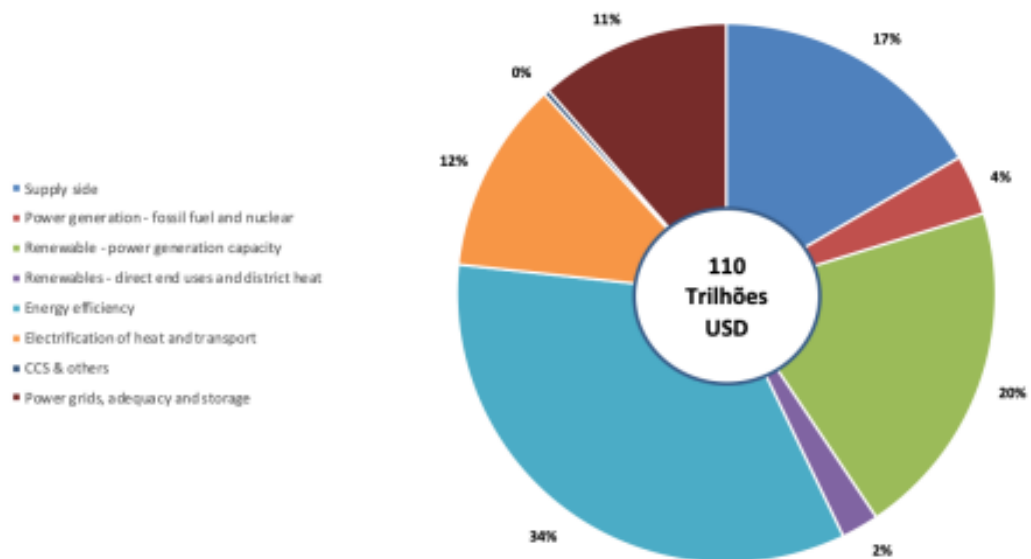


Figura 8. Investimentos necessários para a completa transição energética até 2050.

Fonte: IRENA (2020).

Segundo Pickl (2019), o aumento do custo de exploração na indústria do petróleo pode levar a um incentivo de acelerar a transição energética dos *players* do segmento, pensando em modelos de negócio mais sustentáveis, que envolvam os renováveis por exemplo.

2.4.1 Setor de Petróleo e Gás

Constituído pelas atividades de exploração, extração, produção e refinamento a indústria de Petróleo e Gás é um dos principais conglomerados produtivos globais. O setor como um todo sofreu grandes transformações desde a intensificação do uso de combustíveis fósseis no fim do século XIX. Entre os anos de 1850 e 1950 o mercado de Petróleo e Gás consolidou-se internacionalmente, sendo dominado principalmente por grandes corporações privadas, chamadas “Sete Irmãs”², que tinham direitos de exploração nos principais países detentores de jazidas petrolíferas. Contudo, em 1960 foi estabelecida a Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP), representando um marco histórico no qual Irã, Venezuela, Arábia Saudita, Iraque e Kuwait romperam os contratos de concessões, com as empresas privadas, em suas nações e estatizaram suas produções. Desde então a dinâmica do mercado petróleo vem sendo monitorada de forma constante pelos agentes econômicos e governamentais, através dos preços do barril de *brent* cotados em bolsa de valores, das pressões por oferta e demanda seguidas de tensões geopolíticas (*e.g.* 1ª Guerra do Golfo) e pela observância de tecnologias possivelmente disruptivas que tenham a potencialidade de obsoletar a matéria-prima fóssil.

De acordo com o Madvar et al. (2016) o ciclo de vida dos produtos e serviços dessa indústria, até então, tem mostrado uma característica longínqua, com inovações em grande modo incrementais (YIN, 1994) e baseadas em estratégias básicas de aumento de eficiência e uso de tecnologias que atendem ao modelo de negócio estabelecido.

Outro fato interessante, segundo Owen et al. (2010), é que há uma quantidade vasta de reservas para exploração no subsolo, contudo, o volume que pode ser aproveitado a preços que a economia global se acostumou a pagar é limitado e tende a se esgotar em breve. O resultado dessa lógica é que no futuro o mercado mudará de orientado a demanda para restrito a oferta. Ainda na linha dos preços, os autores destacam o papel da OPEP na tentativa de manter preços

² De acordo com Campos (2014) o grupo das “Sete Irmãs” era composto pelas companhias privadas Royal Dutch Shell, British Petroleum, Chevron, Mobil Oil, Gulf Oil, Exxon e Texaco.

baixos, sendo essa uma estratégia para competir em valores de oferta de energia com as tecnologias renováveis existentes.

Em termos de inovação, duas tem destaque na indústria de Petróleo e Gás por seu caráter revolucionário em termos de mudança tecnológica e pela importância em manter a produção de combustíveis fósseis com produtividade e custos adequados a demanda. A primeira é do processo de *cracking* na atividade de refinamento a partir de 1913, responsável por quebrar o *crude oil* em frações menores até produtos acabados como gasolina e “*gas oil*” (YIN, 1994) e a segunda é a de injeção de dióxido de carbono na fase de extração, tornando a atividade menos agressiva à atmosfera (MADVAR, et al. 2016).

3 METODOLOGIA

Esta sessão apresenta as características da pesquisa e os procedimentos metodológicos que nortearam o estudo de forma a garantir que os resultados caminhassem ao encontro dos objetivos.

3.1 Natureza da pesquisa

No que tange ao tipo, essa pesquisa tem natureza quantitativa em virtude das coletas e análises de dados derivados de documentos de patentes bem como em função do processamento de modelo matemático de programação não-linear que faz parte do MAIOP.

3.2 Etapas da pesquisa

A condução da pesquisa contou com 8 etapas as quais se encontram sintetizadas na Figura 9. Tais etapas retratam o esforço em delimitar os conceitos aplicados e deixar clara a forma como a pesquisa foi conduzida.

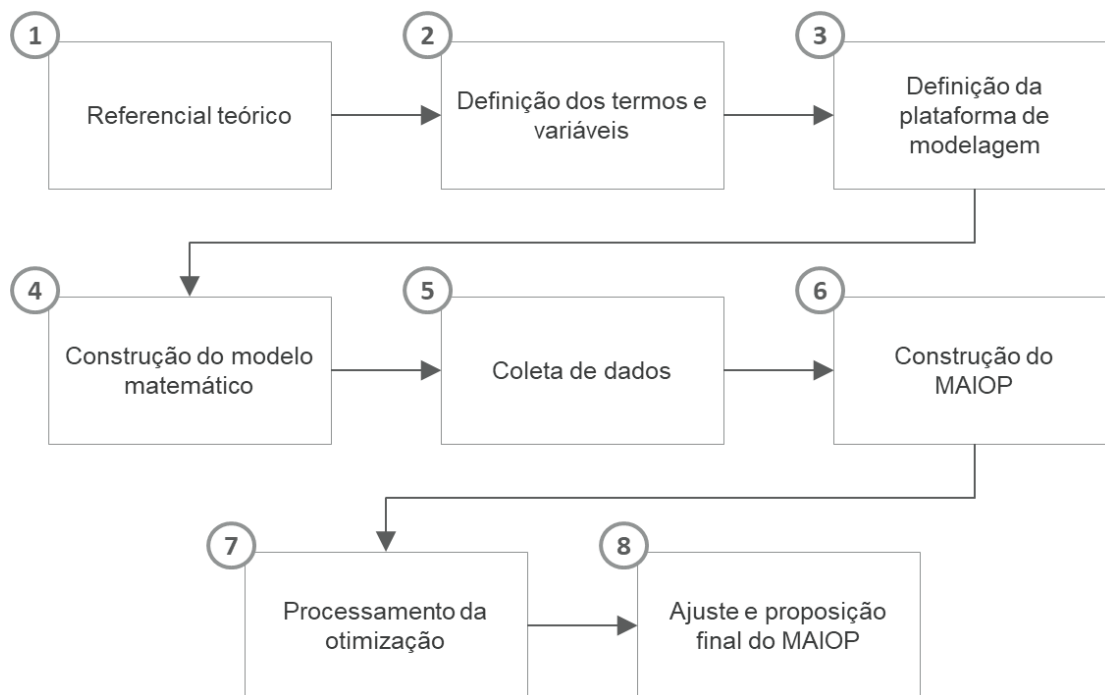


Figura 9. Etapas da pesquisa.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Etapa 1. Referencial teórico: A etapa inicial foi composta pela busca de referenciais teóricos, a fim de:

- a) Explorar a lacuna de pesquisa em que se encaixa toda a proposição do MAIOP para garantir que houvesse uma contribuição inédita com a entrega dos resultados da tese.
- b) Buscar embasamento para os temas que circundam a pesquisa tratados dentro dos tópicos de revisões de literatura.

Foram consultadas, de forma preferencial, as bases de artigos nas plataformas *Web of Science* e *Scopus* em função do amplo acervo de períodos com reconhecimento e impacto internacional. As consultas ocorreram de forma *ad hoc* entre os anos de 2017 e 2021.

Etapa 2. Definição de termos e variáveis: Após o referencial teórico, foram elencadas as definições conceituais dos termos e variáveis adotadas na tese e que balizam a análise dos resultados. Estas definições abrangem os conceitos nos termos de:

- (i) Patentes e tecnologias:

- a) Patente: documento contratual entre inventor e governo que garante direitos, segundo o qual em troca de divulgação ampla da invenção o governo concede ao inventor o direito de excluir terceiros, por tempo determinado, da produção, uso e venda relacionada a invenção (LAI e WU, 2005).
- b) Família de patentes (INPADOC - *International Patent Documentation*): representa o conjunto de documentos de patentes publicados / depositados em diferentes países, porém relacionados a uma mesma invenção. Utiliza-se esse artifício com o intuito de evitar duplicidades na base de patentes.
- c) Data de depósito ou de solicitação da patente: data em que o escritório de patentes recebeu o pedido de solicitação da patente. Na base de dados essa informação consta no campo “*Application Year*”. Dessa forma é possível atribuir as citações de acordo com o ano em que a patente foi registrada.
- d) Citação: reconhecimento feito de uma patente a outra sobre a influência que houve durante um desenvolvimento tecnológico. Nesse caso foi utilizado o *forward citation*.
- e) IPC: sistema de classificação internacional da WIPO, cujas áreas tecnológicas são divididas nas classes de A até H. Dentro de cada classe são postas as subclasses, grupos principais e grupamentos, através de um sistema hierárquico próprio. O conteúdo dos níveis hierárquicos inferiores são subdivisões dos conteúdos dos níveis hierárquicos superiores aos quais estão subordinados. A classificação separa todo o corpo de conhecimento técnico usados os níveis hierárquicos, isto é, seção, classe, subclasse, grupo e subgrupo, em ordem decrescente de hierarquia.
- f) Campo tecnológico: na aplicação do MAIOP o conceito de campo tecnológico estará relacionado ao uso de subgrupos de IPCs, que representam o nível mais detalhado dessa classificação.

(ii) Portfólio:

- a) Risco: termo que se refere diretamente a incerteza de retorno do portfólio, representado pelo desvio padrão / variância do conjunto de opções analisadas.
- b) Retorno: corresponde ao resultado final do portfólio que por sua vez é produto entre o retorno dos campos tecnológicos e pesos sugeridos pelo modelo de otimização. O

resultado dos campos tecnológicos se dará a partir da variação de citações que o mesmo tem ao longo dos anos.

- c) Medida de covariância: grau de correlação na análise de um par de investimentos. Utilizada como parâmetro para definição de diversificação do portfólio.
- d) CFE: conjunto de portfólios otimizados, concebidos a partir de variações de retorno ou risco no processamento do modelo matemático de programação linear média-variância da teoria de Markowitz.

(iii) Modelagem:

- a) Modelo de programação não-linear ou modelo de otimização: representação matemática, advinda da Pesquisa Operacional, com simplificação da realidade e uso de termo quadrático na função objetivo.
- b) Função objetivo: equação que representa o objetivo da otimização. Normalmente atrelada a minimização ou maximização.
- c) Restrições: uma ou mais equações que limitam o objetivo e que podem ou não ser atuantes no modelo.
- d) Algoritmo: sequência de etapas utilizadas para solucionar determinado problema. No caso da aplicação do MAIOP nessa tese refere-se ao algoritmo utilizado para programação não-linear capaz de resolver o problema formulado no modelo de média-variância.
- e) Processamento: ato de executar as tarefas do algoritmo dentro do modelo programado.

Etapa 3. Definição da plataforma de modelagem: Nessa etapa definiu-se os critérios de escolha sobre a plataforma de modelagem que seria utilizada. Existem diversas opções que qualquer pesquisador interessado em otimização pode escolher, desde alternativas que demandam menor grau de conhecimento em notações específicas como é o caso por exemplo do uso do MS Office Excel® Solver, ou ainda opções que trabalham a modelagem com escrita canônica como é o caso do LINDO® e por fim é possível trabalhar com plataformas mais avançadas e de linguagem própria como por exemplo o GAMS®, Phyton® ou AMPL®. As sugestões de plataforma supracitadas são não-exaustivas e também podem ser classificadas

pelas opções de algoritmos que possuem, pelo tipo de disponibilidade ou investimento financeiro (compra ou subscrição), entre outros critérios.

Em função das características do modelo de programação com entradas em formato de base de dados e da complexidade das fórmulas, principalmente na construção das matrizes de covariância, tornou-se recomendável a utilização de uma plataforma avançada para otimização não-linear com alto desempenho na tratativa e processamento de dados. Nesse caso o GAMS® atende todos os requerimentos para o uso, sendo a plataforma de escolha para a aplicação do MAIOP nessa tese.

Etapa 4. Construção do modelo matemático: Esta construção ocorreu a partir de duas premissas. A primeira foi de seguir a modelagem do modelo de média-variância conforme as equações que estão na revisão de literatura, sem que houvesse customização da função objetivo ou das principais restrições originais, desenvolvidas por Markowitz (1952).

A segunda premissa foi a de adequar as equações à notação do GAMS®, que trabalha com a modelagem a partir dos seguintes *building blocks*:

- a) *Sets*: declaração dos índices que acompanham as variáveis.
- b) *Parameters*: descrição dos parâmetros do modelo que assim como os índices podem ser descritos, usualmente em tabelas, ou ainda podem ser configurados em arquivos de formato CSV para *upload* através do GAMS Data Exchange (GDXIN).
- c) *Scalar*: valores escalares que estão associados às formulações e que funcionam estritamente como coeficientes dentro das equações.
- d) *Variables*: descrição das variáveis de decisão, inclusive daquelas que devem ser positivas.
- e) *Equations*: declaração da função objetivo e restrições.
- f) *Model*: denominação do modelo.
- g) *Solve*: escolha do tipo de programação que será utilizada para processamento do modelo.
- h) *DISPLAY*: formato como os resultados de modelagem devem ser mostrados pela plataforma. Com a escolha do GDXIN as informações de saída também são disponibilizadas em formato CSV.

Etapa 5. Definição da amostra e coleta de dados: O universo de pesquisa para a aplicação do MAIOP foi composto por dados de empresas de Petróleo e Gás listadas como as organizações de maior faturamento no ano de 2018. Utilizou-se como referência as informações da Forbes (2019) que estão listadas no Anexo A. Foram consultados dados de um universo com 97 empresas que efetivamente estão classificadas e registradas no setor de Petróleo e Gás como produtoras, fornecedoras de equipamentos ou prestadoras de serviços nessa Cadeia. Já a amostra foi constituída por empresas que depositaram patentes em escritórios patentários disponíveis no *Derwent Innovation* entre 2009 e 2018. Devido a representatividade da amostra, que contou efetivamente com dados de patentes de 81 empresas, as conclusões da aplicação do MAIOP obtidos na tese propiciam o entendimento do fenômeno estudado para o setor de Petróleo e Gás em questão.

Utilizou-se como fonte de dados para a pesquisa a base de patentes *Derwent Innovation* da *Clarivate Analytics*. Os acessos para consulta ocorreram entre os anos de 2019 e 2020, sendo que o recorte de tempo considerou os últimos dez anos, a partir do início dos acessos na plataforma, compreendendo o período de 2009 a 2018. Foram identificadas um total de 89.612 patentes publicadas pelas 81 empresas no período alvo da pesquisa.

Além da pesquisa em bases de patentes foi realizada também a coleta de informações quanto a área de atuação das empresas na Cadeia de Suprimentos de Petróleo e Gás. O intuito foi o de entender em quais etapas da Cadeia as empresas atuam para poder trabalhar recortes analíticos diferentes com o MAIOP. Tais informações foram consultadas nos *websites* das empresas ou ainda em documentos públicos de apresentações de resultados das empresas que tem capital aberto.

Etapa 6. Construção do MAIOP: A partir da construção do modelo matemático e da coleta de dados, foi possível articular a criação do MAIOP. O desafio dessa etapa foi o de pensar cada passo do método com as adaptações necessárias para receber os dados de citação de patentes e criar um resultado que pudesse ser interpretado pelo gestor de P&D.

De forma geral, a construção do MAIOP respeitou os passos primordiais que regem a construção de um modelo na área de Pesquisa Operacional, e que de acordo com CARTER e PRICE (2000) são:

- a) *Definição do problema:* descrição precisa dos objetivos, identificação das alternativas de decisão que existem e reconhecimento das limitações do sistema.
- b) *Construção do modelo:* nessa etapa é feita a construção matemática para representar o problema no qual estamos buscando uma solução. A qualidade da solução apresentada pelo modelo depende crucialmente de que a escolha do mesmo seja a mais adequada possível para cada tipo de situação.
- c) *Solução do modelo:* nessa etapa é encontrada a solução ótima que maximiza ou minimiza a função objetivo, atendendo as restrições impostas. É também nessa etapa que ocorre o emprego de algoritmo.
- d) *Validação do modelo:* quando a solução ótima encontrada é considerada “aceitável” sob a luz da simplificação da realidade proposta, o modelo construído pode ser validado.
- e) *Implementação da solução:* após validado, a solução ótima permite a alteração do cenário existente, com a implementação de novas decisões a partir dos resultados obtidos.

O detalhamento da criação do MAIOP está na sessão 4.1 da presente tese.

Etapa 7. Processamento da otimização: Para o processamento dos resultados (referentes ao modelo de programação) utilizou-se o software *General Algebraic Modeling System* (GAMS®) com algoritmo *Modular In-core Nonlinear Optimization System* (MINOS), este último desenvolvido pela Universidade de Stanford.

Os dados de patentes foram tratados previamente no MS Office Excel® e também na plataforma *cloud* e independente Open Refine®.

Etapa 8. Ajuste e proposição final do MAIOP: Com base nas saídas do processamento da otimização, foi possível trabalhar ajustes no MAIOP para uma proposição final com os seguintes pontos:

- a) A escolha pelo subgrupo de IPC como nível de campo tecnológico a ser trabalhado já que níveis superiores de IPC trariam resultados mais genéricos para o modelo.

- b) Utilização de no máximo os 5 primeiros IPCs em que a tecnologia é classificada como forma de limitar a o resultado aos campos tecnológicos mais relevantes.
- c) Proposta de filtro para o total de opções (campos tecnológicos) que devem ser avaliadas pelo modelo de otimização. Essa limitação ocorre já que as opções de campos tecnológicos tendem a ser exponencialmente maiores que as opções de investimento em ativos financeiros, onde se dá o uso frequente do modelo de média-variância.
- d) Escolha da base de dados para entrada no modelo que contém as Variações de Citações, em detrimento de todas as possibilidades geradas nessa pesquisa que são frequências de citações diretas ou frequências de citações *ln* (esse assunto é abordado na seção 4.2).
- e) Adição de uma nova restrição para o modelo limitando as variáveis de decisão (pesos das opções) a serem maiores que 1% em qualquer portfólio criado. Mesmo sabendo que os investimentos podem ser mais fracionados que esse valor no nível empresarial, essa restrição evita que valores extremamente baixos possam contaminar a análise e acima de tudo serem opções de investimentos imateriais para os gestores de P&D administrarem durante a formação do portfólio.

4 RESULTADOS

Este capítulo é composto por três seções. Na primeira aborda-se a representação de arquitetura do MAIOP, na segunda apresentam-se os resultados da aplicação tanto para o setor de Petróleo e Gás como um todo quanto para os três elos que compõe a Cadeia de Suprimento com os recortes definidos pela atuação das empresas. Em seguida, explora-se também uma proposta de visualização em rede dos portfólios que permite a integração dos resultados de cada elo na Cadeia de Suprimentos. A última seção contém as discussões pertinentes não só a construção do método, mas também a aplicação no setor escolhido. Nesta etapa são realizadas as considerações acerca do uso do MAIOP na atividade de construção de portfólios pelo gestor de P&D.

4.1 *Framework* do MAIOP

O *framework* do MAIOP foi construído no formato de fluxograma com 10 etapas que devem auxiliar sua aplicação desde as fases de definição de busca das patentes até a análise dos resultados (Figura 14). A adaptação da teoria de Markowitz é possível pois as informações de patentes também podem ser tratadas de forma quantitativa como são as informações de retornos e rendimentos no mercado financeiro.

A seguir apresenta-se as etapas de construção do MAIOP:

Etapa 1: O processo tem início com a seleção de um setor de interesse. Nesse caso é importante que o tomador de decisões ou pesquisador escolha se vai analisar um setor completo, um recorte de determinado setor, um conjunto de empresas ou ainda um conjunto de campos tecnológicos. Destaca-se que, a análise final será condicionada ao espectro de busca definido nessa etapa inicial, isto é, se houver, por exemplo, a definição de aplicação do método para todo um setor, como é o caso da aplicação na presente tese, o resultado do portfólio será uma

representação das opções ótimas que o setor oferece. O mesmo raciocínio é válido para qualquer outro recorte analítico escolhido. Outro ponto relevante é a escolha do período de análise dos dados, que é usualmente trabalhado na periodicidade anual pois essa informação permite uma visão mais consistente dos resultados dos esforços tecnológicos, e encontra-se disponível nas bases de patentes. Nesse caso quanto maior o período da base, melhor será a leitura de possíveis correlações negativas disponibilizadas pelo modelo. Ou seja, mais confiáveis tendem a ser as saídas da otimização principalmente no que tange a variável do risco, que é o elemento que diferenciará esse método dos demais, que os gestores tem utilizado para construir um portfólio de P&D. Vale pontuar que a análise de bases de patentes normalmente exigem alta capacidade computacional e *expertise* do usuário para serem tratadas de forma adequada, portanto o acréscimo de muitos períodos pode ser um fator adicional de complexidade na aplicação do método. Para a aplicação do MAIOP na tese optou-se por trabalhar com um período de 10 anos de forma a abranger as tecnologias mais recentes.

Etapa 2: O segundo passo é a busca das patentes em um portal ou base especializada que tenha informações estruturadas. Algumas considerações nesse ponto se fazem necessárias, e deverão ser ponderadas durante o processo de seleção da base de patentes: (i) a amplitude das informações dependerá do quão completo é o serviço utilizado, ou seja, quantos escritórios de patentes são cobertos pela base e; (ii) as informações devem ser agrupadas em INPADOCs, que são unificações de patentes em famílias, constituindo-se na mesma invenção, porém depositadas de forma estratégica em vários escritórios distintos. Enquanto o primeiro ponto trata da abrangência da coleta, prezando para que ela seja representativa e garanta a cobertura do maior número de publicações possível, o segundo visa garantir que não ocorram duplicidades que venham a enviesar a análise e distorcer os resultados (iii) o último ponto a considerar nessa etapa é a aplicação de um filtro para que a base seja composta por patentes cujo status seja de concedida ou em processo de aprovação, com o objetivo de limitar a utilização a documentos que não foram abandonados, retirados ou revogados.

Etapa 3: O terceiro passo do MAIOP é a consulta das informações de citação de patente. Nesse caso a tarefa seria simplificada para a aplicação original do modelo média-variação com apenas as coletas dos rendimentos financeiros dos ativos. Considerando base de patentes, há duas possibilidades, sendo a primeira utilizar a informação das citações que uma nova patente

faz de outra (s) que já existente (m), a chamada “backward citation” — que esteja relacionada ou foi usada em referência — ou ainda é possível ver quais citações a patente que está sendo consultada (“patente foco”) já recebeu (“forward citation”). Para o MAIOP utilizou-se o campo “citing patent” que representa a opção forward citation, aonde são representadas as citações recebidas de uma nova patente à patente foco, conforme a Figura 10.

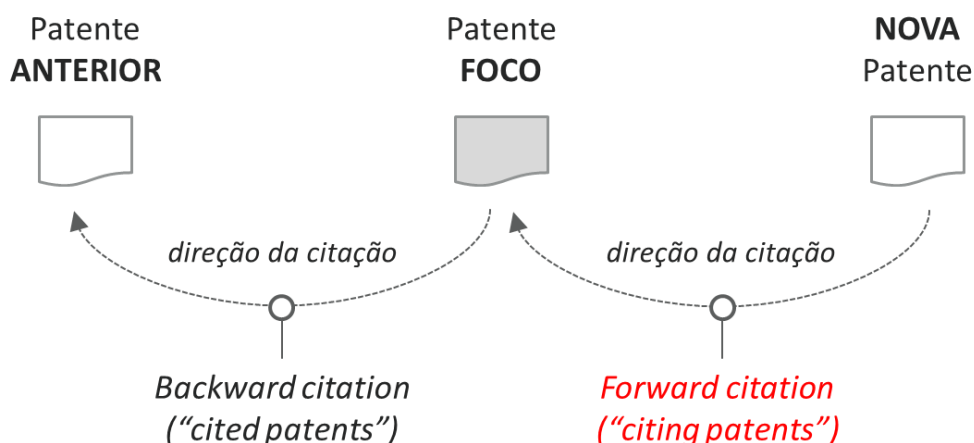


Figura 10. *Backward citation versus forward citation*

Fonte: Elaborado pelo autor.

O uso do *forward citation* propicia uma visão ágil do acumulado de citações que determinada patente possui. Torna-se fácil fazer uma conexão com o ano de depósito da patente, que é o período em tese que a nova tecnologia passa a influenciar os inventores.

A principal desvantagem de uso da *forward citation* recai sobre o fato de que tecnologias mais antigas tendem a ter mais citações registradas no comparativo às tecnologias recentes. Com efeito, é possível observar que após consolidação das patentes em campos tecnológicos haverá uma queda nas citações recebidas pelos subgrupos de IPCs nos anos mais recentes da amostra. As implicações dessa queda nos anos mais recentes são limitadas pois ela acontece de forma irrestrita para todos os campos tecnológicos, ou seja, o efeito produzido é o mesmo para todas as opções disponíveis para integrar o portfólio.

Etapa 4: No quarto passo ocorre o agrupamento das citações por ano com a contagem de frequência das citações. Nessa etapa o usuário do MAIOP realizará operações com bases de dados que irão testar as capacidades computacionais, *vis à vis* que se parte da base analítica para uma primeira etapa de consolidação na qual a complexidade é a mais alta de todo o

processo. É possível contar com a ajuda de *softwares* ou serviços que facilitem a organização dos dados, como MS Excel ®, OpenRefine ®, Matlab ®, R®, entre outros.

Etapa 5: No quinto passo é realizado o agrupamento das patentes em campos tecnológicos específicos. Esse passo constitui-se no somatório das citações de todas as patentes em seus respectivos agrupamentos, assim como ilustrado na Figura 11. Por exemplo, se a “patente foco” tem 2 citações no ano t , a patente B tem 4 citações no ano t e mais a patente C tem 5 citações também no ano t e todas são de um mesmo grupo tecnológico A, automaticamente o grupo tecnológico A terá 11 citações no ano t . Dessa maneira o pesquisador endereçará a questão do surgimento de novos dados (citações) na base (ao longo do período de análise) sem trazer fragilidade para o cálculo de correlação entre as opções para o portfólio. Fazendo uma nova analogia ao mercado financeiro, isso significa que não é possível utilizar de forma adequada a teoria de Markowitz com o modelo de média-variância para uma escolha ótima entre as ações de *IBM* e *Facebook* em um espaço de tempo de 40 anos, por exemplo, já que a *IBM* foi listada em bolsa no ano de 1911 e o *Facebook* fez sua oferta inicial de ações somente em 2012. Ou seja, no período de 40 anos teríamos informações de rendimentos das ações da *IBM*, porém teríamos uma lacuna de dados ao considerar as informações do *Facebook* para o período anterior a 2012. Contudo, se olharmos para o setor de “Tecnologia da Informação” ao invés de focarmos simplesmente nas empresas, veríamos que há informações disponíveis a serem trabalhadas com a consolidação das informações das duas empresas e de outras que também compõe o setor. A visão setorial ou por campo tecnológico já é vastamente utilizada por pesquisadores que utilizam métricas de faturamento das empresas, números de funcionários, *market-share*, etc. para representar algum contexto ou usar em aplicação.

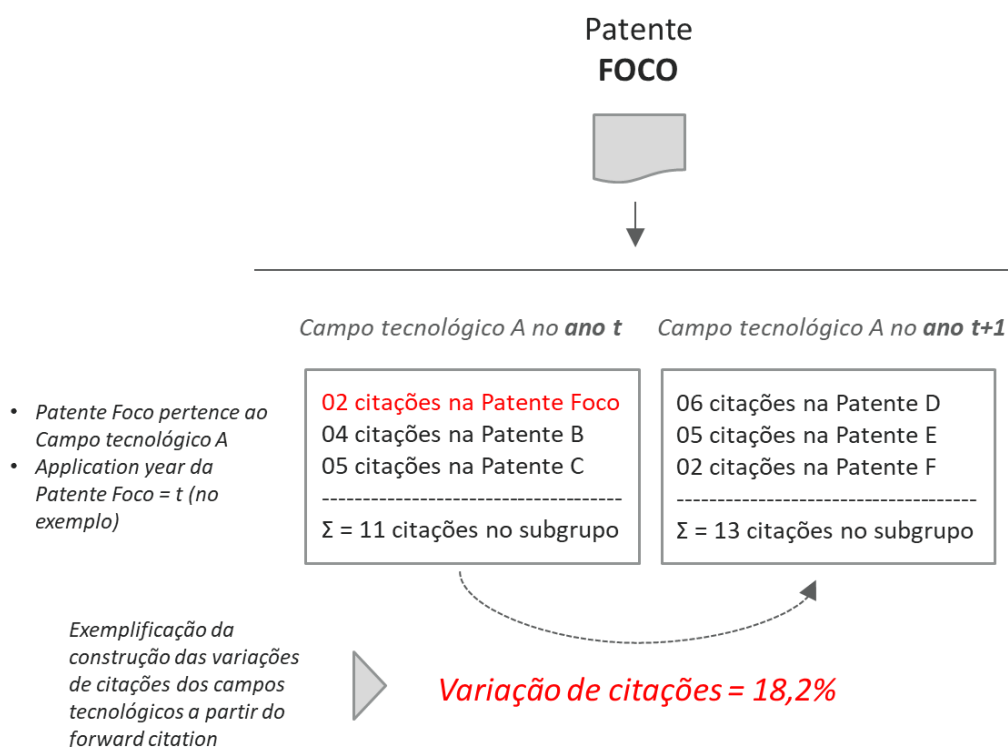


Figura 11. Composição das variações de patentes a partir da consolidação de citações.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim como a agregação das patentes ocorre no sentido de criação das citações dos campos tecnológicos, na Figura 11 é possível observar que a diferença percentual da soma dessas variações entre os anos se constituirá na composição de Variação de Citações.

De forma abrangente, é possível considerar dois caminhos para esse agrupamento tecnológico quando tratamos bases de patentes:

- a) Uso de aglomerações construídas por especialistas, que tragam classificações prévias de tecnologias em “clusters” usando a familiaridade da natureza ou aplicação da tecnologia, por meio do IPC (*Internacional Patent Classification*) desenvolvido pela WIPO (2020).
- b) Uso de técnicas de “*text mining*” para formação dos grupos. Para esse caminho existem alternativas como o “*text clustering*” — que lê os textos dos “*claims*” no documento de patente e usa algoritmos para formação de *clusters* — amplamente usado em associação com patentes (TSENG et al. 2007).

Na Figura 12 há uma exemplificação do resultado de *text mining* aplicado em documentos de patentes para o caso de *High Speed Railway Track* (HSRT) explorado por Yu e Zhang (2017). Nesse estudo os autores utilizaram a técnica de mineração textual para encontrar as palavras-chave — nos documentos de patentes — que definem melhor os 16 campos tecnológicos da tecnologia em questão. Com esse resultado os autores conseguiram trabalhar suas informações de forma agregada para produzir ao final de seu estudo um *roadmap* tecnológico com raias abertas e interconectadas entre os diferentes *clusters*.

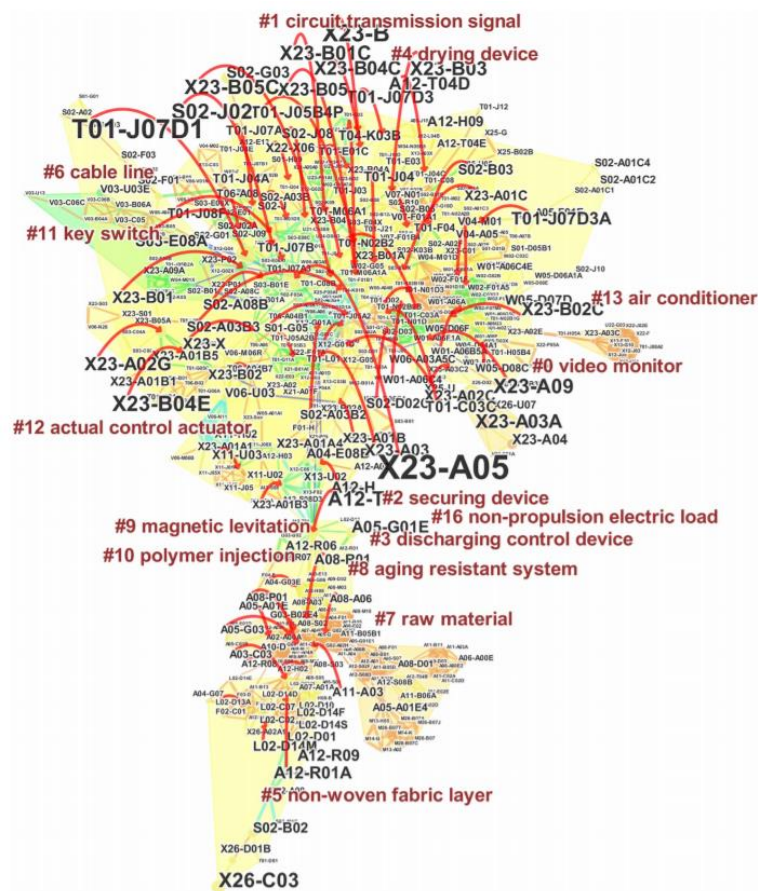


Figura 12. Exemplo de aplicação de *text mining* em documentos de patentes para segmentação de campos tecnológicos.

Fonte: Extraído de Yu e Zhang (2017).

Caso seja escolhida a opção de uso por IPCs, é possível ainda considerar o uso de subgrupos no MAIOP (Figura 13), que é a representação hierárquica mais detalhada do campo tecnológico, pois dessa forma o resultado, com os portfólios, será mais específico, isto é, terá um poder maior de direcionar ações precisas. Vale a pena salientar que se recomenda também o uso de no máximo os cinco primeiros IPCs classificados na patente (quando houver mais que

cinco), considerando que há um grau de importância para os primeiramente citados e que pode haver casos de muitas citações que não são necessariamente relevantes.

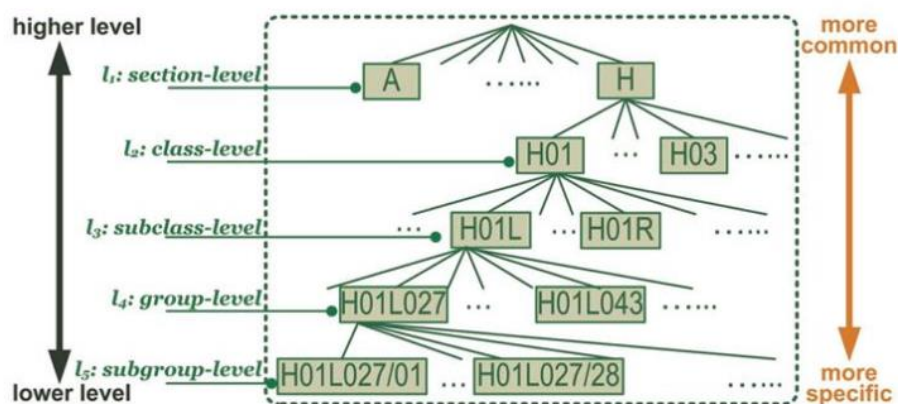


Figura 13. Representação hierárquica da classificação da WIPO para o IPC.

Fonte: Extraído de Chen e Chiu (2012).

O uso da sistemática de IPC para definição do campo tecnológico mostra-se como uma opção consistente dentro da construção do MAIOP pois ele já traz consigo um histórico de discussões sobre classificação de tecnologias por um crivo de especialistas da WIPO desde 1968 com revisões e proposições de ajustes técnicos constantes sob a supervisão da organização. Além disso, é amplamente utilizado pelos pesquisadores e empresas que trabalham com diferentes temas associados a patentes, sendo de fácil compreensão e aceitação.

A partir da definição do critério de agrupamento, os resultados do portfólio otimizado se darão com a indicação dos campos tecnológicos mais recomendados para investimento, ao invés da indicação simples de uma ou outra patente.

Etapa 6: O próximo passo do método é limitar o número de opções do portfólio a partir da criação de um ponto de corte na base que seja suficiente para montar uma amostra elegível para o portfólio. Sugere-se a consolidação de todas as citações, realizadas ao longo do período selecionado e a aplicação de um filtro que privilegie o maior volume de citação. Nesta pesquisa, optou-se por um corte de mínimo 200 citações. De forma análoga, no mercado financeiro esse passo seria semelhante à de um gestor que iria ver o percentual de rendimento de todas as ações de determinada bolsa ou setor, no período desejado, e descartaria ações que tiveram rendimentos negativos ou que pouco se valorizaram em relação à média, ou seja, o primeiro

filtro seria o de separar potenciais bons investimentos para serem “testados” em algum modelo. Esse passo torna-se fundamental para estreitar de forma racional as opções e também para diminuir consideravelmente a complexidade computacional no processamento final do modelo de otimização não-linear.

Etapa 7: No sétimo passo ocorre a construção da matriz de citações, que analogamente ao ambiente de finanças pode ser considerada as variações que acontecem nos rendimentos dos ativos. Nesse caso é possível trabalhar previamente a construção da matriz de citações de algumas formas diferentes. A priori nesse método propõe-se a construção e leitura de três diferentes bases, que irão trazer resultados que podem ser interpretados de formas diferentes pelo usuário: (i) a contagem das citações recebidas ano a ano; (ii) a “logaritimização” da contagem das citações recebidas ano a ano e; (iii) as variações das citações ao longo dos anos. Nessa etapa do método, realiza-se também os testes de normalidade das diferentes bases construídas. O objetivo de construir bases diferentes é justamente para buscar o endereçamento da questão da normalidade dos dados. Nos resultados da tese é feito uma discussão desse tema que é sensível pois é premissa para o adequado uso da correlação como medida de associação.

Etapa 8: Corresponde a construção da matriz espelhada entre os campos tecnológicos para que seja feito o cálculo estatístico de covariância. Nesse momento serão analisados os pares de campos para avaliar quais tiveram citações em momentos similares e por isso possuem grau de covariância relevante. Vale salientar que a ideia de portfólio financeiro é a mesma para P&D no sentido de que a covariância positiva sinaliza para tecnologias pouco diversificadas e por isso não estariam alinhadas em uma perspectiva de portfólio otimizado, considerando o risco.

Etapa 9: No penúltimo passo são processadas de fato as equações de otimização, que nesse caso referem-se ao modelo média-variância.

Etapa 10: Na última etapa realiza-se a análise do resultado do portfólio otimizado de P&D. Nessa fase verifica-se quais são os campos recomendados pelo MAIOP, os quais tem o poder de guiar o processo de construção do portfólio final. Portanto, em última instância, este portfólio otimizado deve subsidiar tomadores de decisão na escolha dos projetos de P&D empresariais. Durante a etapa final é possível aprofundar a análise sobre os resultados de forma

a: (i) analisar comparativamente os resultados de cada modelo com cada combinação de base; (ii) analisar quais subgrupos de IPCs tem maior frequência nas curvas (ao variar a condição de contorno “risco” dos modelos), e; (iii) analisar quais empresas do setor estão com mais patentes dentro dos subgrupos de IPCs que estão nas curvas processadas .

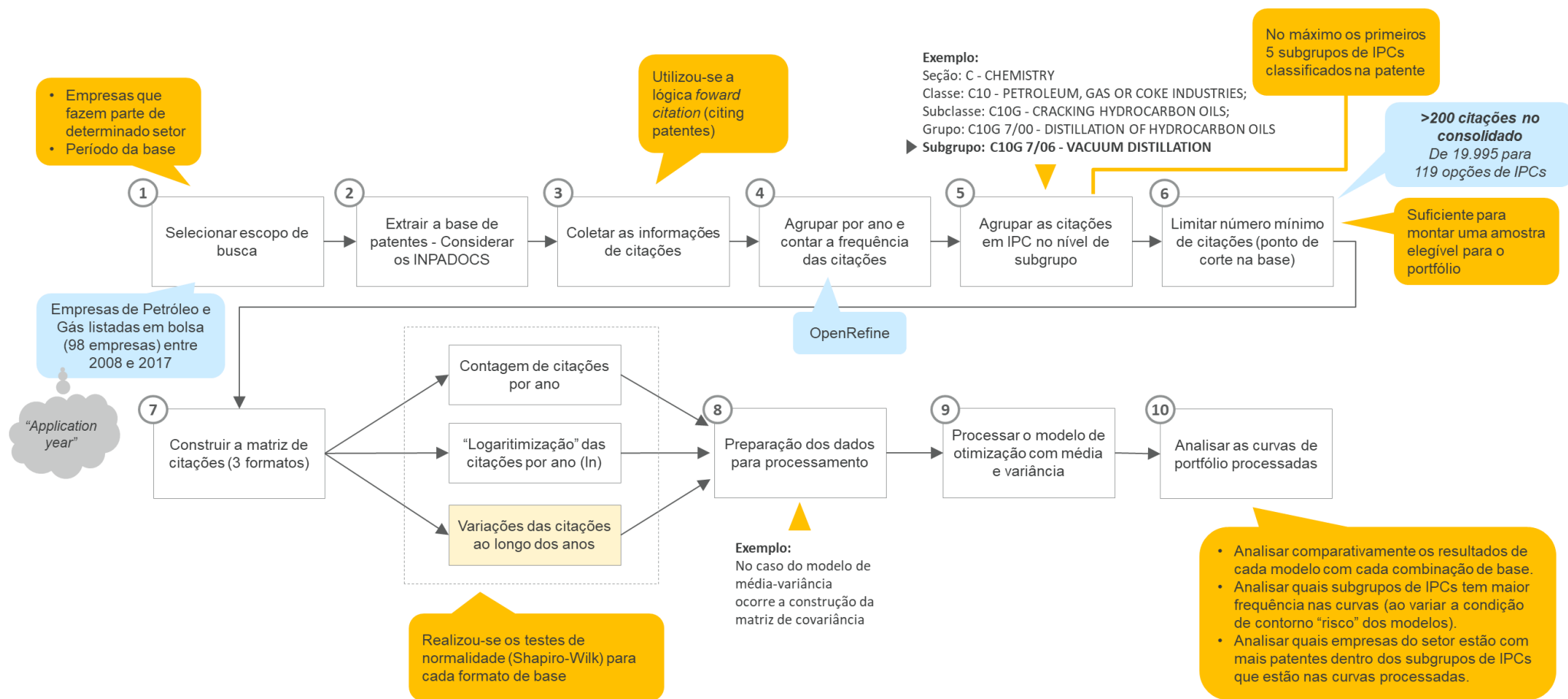


Figura 14. Framework do MAIOP.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 Aplicação do método no setor de Petróleo e Gás

Nesta pesquisa optou-se por aplicar o MAIOP no setor de Petróleo e Gás, que conta com um perfil de empresas que historicamente praticam P&D em diversos campos tecnológicos. Após a coleta das patentes e a realização das quatro primeiras etapas do MAIOP, a consolidação das citações nos subgrupos de IPCs desse setor (Etapa 5 do MAIOP) mostrou que havia 19.995 opções de subgrupos de IPCs disponíveis para os portfólios. Em seguida, com a aplicação de um filtro que limitou a 200 ou mais citações no consolidado (Etapa 6 do MAIOP), a amostra final contou com 119 opções de subgrupos de IPCs elegíveis a entrar nos portfólios otimizados. Esse número mais restrito de opções tornou possível que o modelo matemático analisasse através do algoritmo de otimização somente as melhores opções disponíveis. Com isso o resultado será uma combinação dos subgrupos com maiores retornos de citação de patente no período, sem deixar de considerar a variável risco que será calculada no processamento da programação não-linear.

Como forma de testar a normalidade dos dados de patentes aplicou-se o teste de Shapiro-Wilk³ em todas as 119 séries de dados que compõe as 3 formas de bases de dados diferentes (Etapa 7 do MAIOP). No caso desta aplicação para o setor de Petróleo e Gás foram construídas as seguintes bases: (i) *Citações*: base com as citações diretas recebidas pelo subgrupo de IPC ao longo dos anos de 2009 a 2018; (ii) *Citações ln*: base em logaritmo neperiano das citações diretas recebidas pelo subgrupo de IPC ao longo dos anos de 2009 a 2018 e; (iii) *Variações de citações*: base com as variações anuais das citações diretas recebidas pelo subgrupo de IPC ao longo dos anos de 2010 e 2016. No caso da base de variações o número de dados que entram no MAIOP é menor se comparado as outras duas bases (7 períodos contra 10 períodos) pois o primeiro ano da série (ano de 2009) serve de base para início do cálculo das variações e optou-se por retirar os últimos 2 anos da base devido à baixa população de citações em função das características do tipo *forward citation* que foi adotado (conforme explicado na Etapa 3 do MAIOP). Com isso foram realizados um total de 357 testes de normalidade (resultado de 3 formas de bases multiplicada por 119 séries de dados) com os

³ O teste de Shapiro-Wilk é um teste de normalidade não paramétrico, publicado originalmente por Shapiro e Wilk (1965) com o objetivo de fornecer estatística para avaliação do comportamento Normal em amostras.

resultados sendo inferidos como provável normalidade caso o *p-valor* seja superior a 0,05 (ou 5%).

Em cada um dos processamentos de otimização realizados para as 3 bases diferentes, a única variável que foi alterada de forma sistemática foi a condição de contorno do risco que para cada uma das 3 bases apresentou valores diferentes, já que os dados trabalhados tinham naturalmente escalas e medidas diferentes. Usou-se da análise de sensibilidade para alterar essa variável de forma a construir 11 portfólios para cada uma das 3 bases, gerando assim ao final 33 portfólios para o setor de Petróleo e Gás.

Na Figura 15 é possível ver todo o resultado de processamento das 3 bases diferentes. De forma geral é possível pontuar os seguintes resultados para a aplicação do MAIOP no setor de Petróleo e Gás:

- Analisando os resultados da base de Variações de Citações, nota-se que o retorno de citações variou entre 31,5% e 53,7% com o risco entre 1% e 14%, respectivamente. Para a base de Citações, o retorno variou entre 38,91 e 54,91 citações com o risco entre 3 e 25 citações, respectivamente. Por fim, para a base de Citações (*ln*) o retorno variou entre 3,81 e 5,19 com a condição de contorno risco entre 0,005 e 0,060.
- Foi possível observar nos gráficos das 3 CFEs criadas (Figura 15) que conforme o risco aumentou, o retorno também aumentou. Condição similar ao que ocorre no mercado financeiro, em que as expectativas de retornos do rendimento são superiores quando o investidor tem um maior apetite ao risco.
- Das 119 opções que poderiam ser escolhidas pelo modelo de otimização, somente 16 (subgrupos de IPCs) foram selecionados pelo modelo nos 33 portfólios criados — considerando-se os 3 tipos de base diferentes (Citações, Citações (*ln*) e Variações de citações) — sendo que: (i) 8 aparecerem de forma exclusiva, ou seja, em somente uma base, (ii) outros 5 aparecerem em 2 bases diferentes e finalmente (iii) 3 apareceram em todas as bases (Quadro 3).
- O número de subgrupos de IPCs que integram os portfólios permaneceu constante ou ainda diminuiu conforme a condição de risco foi afrouxada em todas as bases utilizadas. Condição também similar ao que ocorre no mercado financeiro, em que para buscar incremento nos retornos de ativos aplica-se a estratégia de concentração dos investimentos em poucos ou somente um título.

- As condições de normalidade variaram para cada base de dados, porém ficaram acima de 78% em todos os casos. Em específico para a base com logaritmo de citações, o efeito buscado de aumentar o grau de normalidade⁴ dos dados não foi alcançado. Pelo contrário, com a “logaritmização” da base de citações da série de dados saiu-se de um total de 94% (sem “logaritmização”) para com comportamento normal de 78% após a transformação. Deve-se alertar para o fato de que nem sempre a normalização da base conduz a uma estabilização da variância (Efron, 1982). Para a base de Variações de Citações a provável normalidade foi verificada para 85% das séries analisadas.
- Os pesos das opções selecionadas pelos 33 portfólios variaram de no mínimo 1%, nos casos do portfólio de Citações com risco configurado em 3 (EB21B004900) e do portfólio de Citações (*ln*) com risco em 0,005 (EB21B004320), até 100% com foi o caso do portfólio de Citações (*ln*) com risco em 0,060 em que a recomendação foi concentrar todo o investimento no subgrupo de IPC de código EB21B004700.
- As bases de Citações e Citações (*ln*) compartilham de subgrupos de IPCs parecidos pois sua construção deriva basicamente do mesmo racional que são as citações diretamente recebidas. Isto é, dos 9 campos tecnológicos selecionados nos portfólios dessas 2 bases (Quadro 3), 8 deles são compartilhados, sendo somente o campo G01V001100 exclusivo do portfólio com a base de Citações (*ln*) quando o risco foi definido para 0,005.
- Os resultados de subgrupos de IPCs contaram com 7 níveis de classe em diferentes áreas tecnológicas, as quais são:
 - **E21:** *earth or rock drilling; mining.*
 - **C08:** *organic macromolecular compounds; their preparation or chemical working-up; compositions based thereon.*
 - **C09:** *dyes; paints; polishes; natural resins; adhesives; compositions not otherwise provided for; applications of materials not otherwise provided for.*
 - **G01:** *measuring; testing.*
 - **G06:** *computing; calculating or counting*
 - **G11:** *information storage*
 - **H01:** *basic electric elements.*

⁴ De acordo com a revisão de Pino (2014) sobre não-normalidade, a transformação logarítmica tem amplo uso por pesquisadores na busca de normalização de dados, principalmente para fins de regressão e na econometria de forma geral.

Vale ressaltar que todos os 33 portfólios apresentados na Figura 15 estão efetivamente otimizados. Isso significa que após os processamentos do modelo matemático caberia, de forma pragmática, ao gestor de P&D avaliar a implementação de uma solução (dentre as 33) com base no perfil de risco buscado pela empresa e também nas implicações que a construção de base (selecionada) traz para a captura dos resultados.

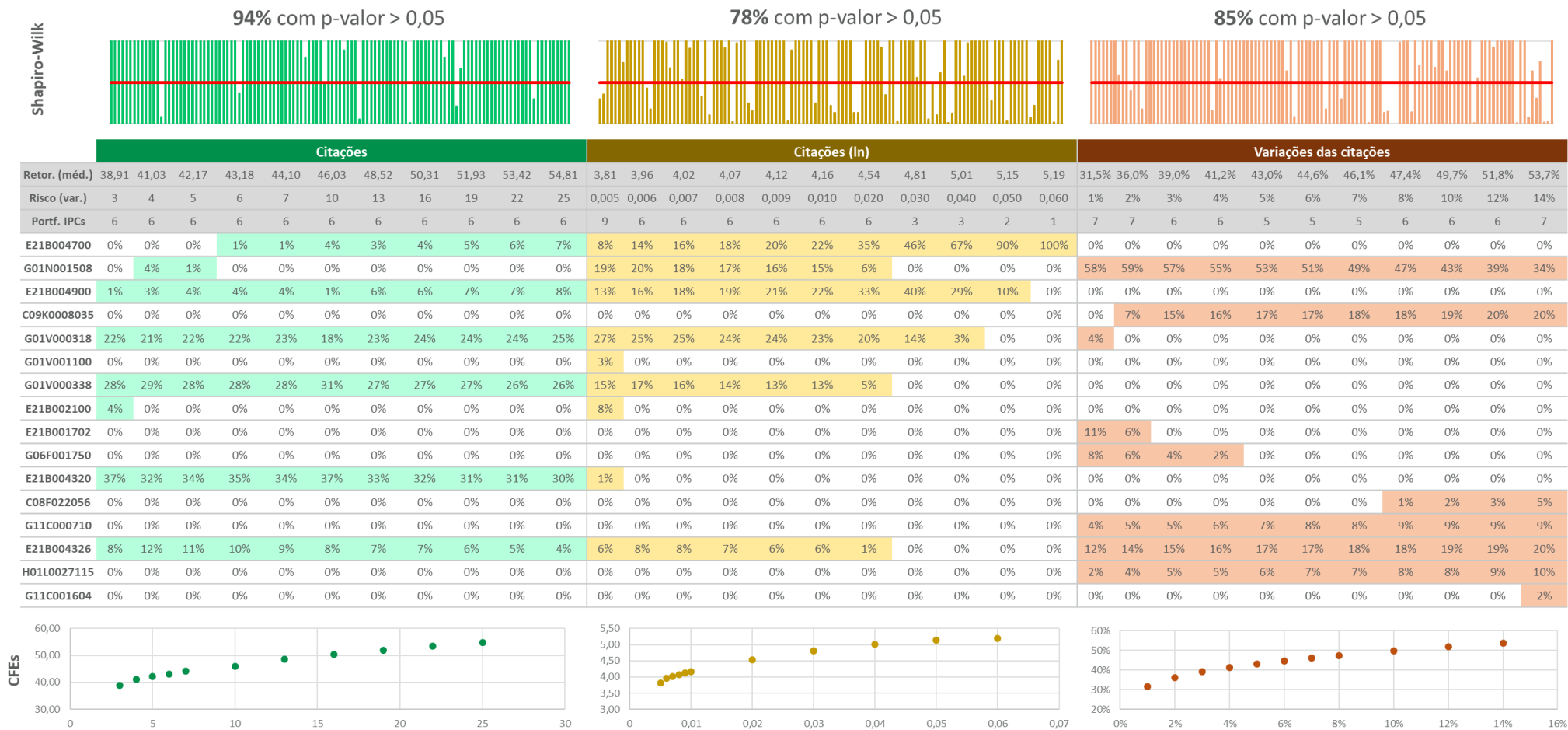


Figura 15. Resultados da aplicação do método proposto no setor de Petróleo e Gás.

Fonte: Elaborado pelo autor.

No Quadro 3 são detalhadas as descrições adotadas pela WIPO para cada um dos subgrupos de IPCs que foram representados nos portfólios do setor. No mesmo quadro foram destacados quais campos tecnológicos compõem os portfólios de acordo com cada uma das 3 formas de bases em que o MAIOP foi processado.

Quadro 3. Descrição e enquadramento dos Subgrupos de IPC nos portfólios

Subgrupo de IPC	Descrição do subgrupo de IPC	Composição de portfólio
E21B470000	<i>Survey of boreholes or wells (monitoring pressure or flow of drilling fluid E21B 21/08) [2012.01]</i>	Citações e Citações (In)
G01N001508	<i>Investigating permeability, pore volume, or surface area of porous materials [2006.01]</i>	Citações, Citações (In) e Variações de citações
E21B004900	<i>Testing the nature of borehole walls; Formation testing; Methods or apparatus for obtaining samples of soil or well fluids, specially adapted to earth drilling or wells (sampling in general G01N 1/00) [2006.01]</i>	Citações e Citações (In)
C09K0008035	<i>Compositions for drilling of boreholes or wells; Compositions for treating boreholes or wells, e.g. for completion or for remedial operations [2006.01]. Organic additives [2006.01]</i>	Variações de citações
G01V000318	<i>Electric or magnetic prospecting or detecting; Measuring magnetic field characteristics of the earth, e.g. declination or deviation [2006.01]. Specially adapted for well-logging [2006.01]</i>	Citações, Citações (In) e Variações de citações
G01V001100	<i>Prospecting or detecting by methods combining techniques covered by two or more of main groups G01V 1/00-G01V 9/00 [2006.01]</i>	Citações (In)
G01V000338	<i>Electric or magnetic prospecting or detecting; Measuring magnetic field characteristics of the earth, e.g. declination or deviation [2006.01]. Processing data, e.g. for analysis, for interpretation or for correction [2006.01]</i>	Citações e Citações (In)
E21B002100	<i>Methods or apparatus for flushing boreholes, e.g. by use of exhaust air from motor (freeing objects stuck in boreholes by flushing E21B 31/03; well drilling compositions C09K 8/02) [2006.01]</i>	Citações e Citações (In)
E21B001702	<i>Drilling rods or pipes; Flexible drill strings; Kellies; Drill collars; Sucker rods; Casings; Tubings (rod couplings in</i>	Variações de citações

	<i>general F16D; tubes or tube couplings in general F16L) [2006.01]. Couplings; Joints [2006.01]</i>	
G06F001750	<i>Computer-aided design (for the design of test circuits for static stores G11C 29/54) [2006.01]</i>	Variações de citações
E21B004320	<i>Methods or apparatus for obtaining oil, gas, water, soluble or meltable materials or a slurry of minerals from wells (applicable only to water E03B; obtaining oil-bearing deposits or soluble or meltable materials by mining techniques E21C 41/00; pumps F04) [2006.01]. Displacing by water [2006.01].</i>	Citações e Citações (In)
C08F022056	<i>Homopolymers or copolymers of compounds having one or more unsaturated aliphatic radicals, each having only one carbon-to-carbon double bond, and only one being terminated by only one carboxyl radical or a salt, anhydride, ester, amide, imide, or nitrile thereof [2006.01]. Acrylamide; Methacrylamide [2006.01].</i>	Variações de citações
G11C000710	<i>Arrangements for writing information into, or reading information out from, a digital store (G11C 5/00 takes precedence; auxiliary circuits for stores using semiconductor devices G11C 11/4063, G11C 11/413, G11C 11/4193) [2006.01]. Input/output [I/O] data interface arrangements, e.g. I/O data control circuits, I/O data buffers [2006.01]</i>	Variações de citações
E21B004326	<i>Methods or apparatus for obtaining oil, gas, water, soluble or meltable materials or a slurry of minerals from wells (applicable only to water E03B; obtaining oil-bearing deposits or soluble or meltable materials by mining techniques E21C 41/00; pumps F04) [2006.01]. by forming crevices or fractures [2006.01].</i>	Citações, Citações (In) e Variações de citações
H01L0027115	<i>Devices consisting of a plurality of semiconductor or other solid-state components formed in or on a common substrate (details thereof H01L 23/00, H01L 29/00-H01L 51/00; assemblies consisting of a plurality of individual solid state devices H01L 25/00) [2006.01]. Electrically programmable read-only memories; Multistep manufacturing processes therefor [2017.01]</i>	Variações de citações
G11C001604	<i>Erasable programmable read-only memories (G11C 14/00 takes precedence) [2006.01]. using variable threshold transistors, e.g. FAMOS [2006.01]</i>	Variações de citações

Fonte: Elaborado pelo autor com base em WIPO (2019).

Mesmo que tenham sido feitos 3 processamentos do modelo de otimização em paralelo para comparação dos resultados, a proposta final é que somente a opção da base de *Variações de Citações* seja a efetivamente recomendado para utilização no MAIOP. Isso se dá pois com a utilização da base de variações é possível fazer uma clara leitura e interpretação dos resultados, assim como é feito quando do modelo de media-variância aplicado para finanças. Isto é, as variações percentuais (nesse caso anuais) indicam que seria possível investir qualquer montante financeiro com a expectativa de retornos crescentes em citações de acordo com o resultado do processamento matemático. Por exemplo, se buscássemos um retorno de 43% no crescimento anual das citações com um risco de 5% faríamos a escolha de investir 53% dos recursos em tecnologias ligadas ao campo G01N01508, 17% em C09K0008035, 7% em G11C000710, 17% em E21B004326 e finalmente 6% em H01L0027115.

Já se fossemos buscar uma interpretação similar do resultado da utilização da base de contagem simples de Citações ou de Citações (\ln), iríamos ter dificuldade em entender qual seria o montante que nos trariam o resultado esperado, pois nesse caso o volume de recursos empregado no investimento iria afetar diretamente o desempenho do retorno, ou seja, quanto maior o investimento nos campos tecnológicos sugeridos em portfólio, maior seria a expectativa em receber citações nas tecnologias, não sendo viável estabelecer uma relação rápida e direta entre os resultados do MAIOP com as expectativas dos investidores. É possível que a adoção de uma métrica de proporcionalidade dos resultados enderece parcialmente essa fragilidade.

Por esse motivo, considera-se o resultado a partir do uso da base de *Variações de Citações* como aquele de fato válido para integração do MAIOP. Com efeito, todas as análises a partir da Seção 4.2.1 em diante passam a considerar somente essa construção de base.

O desempenho listado de todos os 11 portfólios criados a partir da base de Variações de Citações, e que são integrantes da CFE do setor encontra-se na Figura 16. Nessa ilustração é possível verificar que no comparativo com a média geral de retorno de citações de todas as 119 opções de subgrupos de IPCs nos anos da série, que foi de 4,3%, todos os portfólios gerados obtiveram um desempenho superior. Tais desempenhos foram consistentemente melhores que a média geral do setor inclusive atrelando uma banda com Limite Superior (LS) e Limite Inferior (LI), que corresponderam ao acréscimo e decréscimo do percentual de risco atribuído ao portfólio, respectivamente.

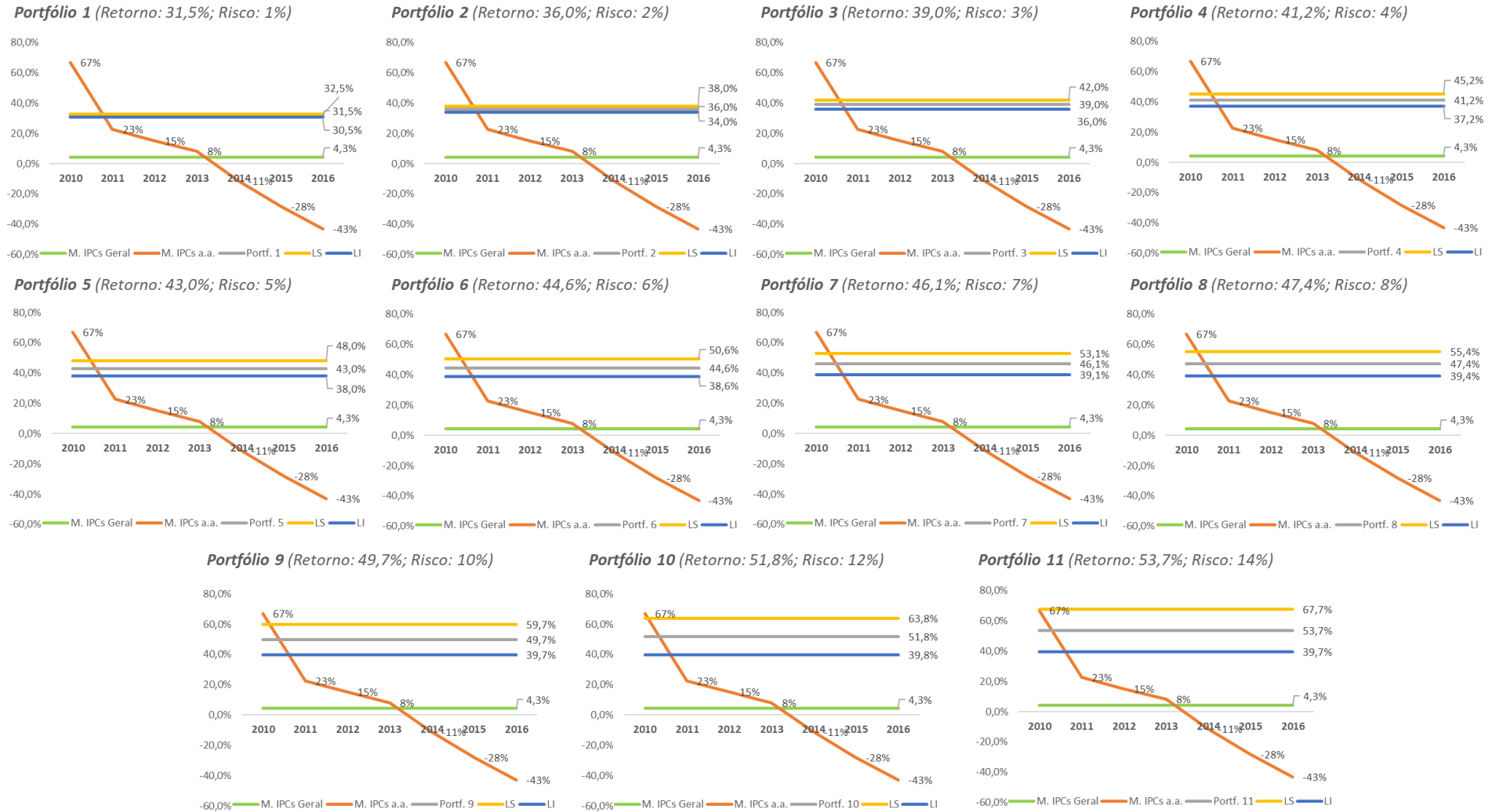


Figura 16. Desempenho dos 11 portfólios gerados pela base de Variação de Citações para o setor de Petróleo e Gás.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O total de patentes por empresa dentro dos subgrupos de IPCs que saíram nas análises das 3 bases está listado na Tabela 1, com destaque para os campos tecnológicos que foram selecionados nos portfólios a partir da base de Variações de Citações (preenchimento colorido). Nessa tabela já é possível identificar empresas que contam com um maior número de patentes nos campos tecnológicos das CFEs do setor de Petróleo e Gás. Merecem destaque a empresa Schlumberger com um total de 1792 patentes, a empresa Halliburton com 1385 patentes e a empresa China Petroleum com 1134 patentes. Do total de 81 empresas com patentes na amostra da pesquisa, apenas 37 (46%) apresentaram alguma patente nos subgrupos de IPCs que aparecem nos 33 portfólios criados.

Mesmo que algumas empresas apareçam de forma destacada por possuírem muitas patentes nos portfólios de campo tecnológico, não é possível afirmar que elas estão mais alinhadas com o conceito de gestão de risco que se pretende quando se adota o MAIOP. Só haveria a certeza de que determinada empresa tem riscos geridos através dessa adaptação de Markowitz se fizemos uma análise individual da empresa a partir de todo investimento de P&D que ela fez no passado e que envolveria não só patentes, mas outros investimentos em projetos que tiveram ou não sucesso.

Tabela 1. Total de patentes por empresa e por subgrupo de IPC no processamento do setor inteiro de Petróleo e Gás.

	E21B004700	G01N001508	E21B004900	C09K0008035	G01V000318	G01V001100	G01V000338	E21B002100	E21B001702	G06F001750	E21B004320	C08F022056	G11C000710	E21B004326	H01L0027115	G11C001604	Total
Schlumberger	558	37	267	19	170	78	99	46	51	52	14	0	0	401	0	0	1792
Halliburton	355	10	143	100	106	34	66	44	86	36	9	3	0	393	0	0	1385
China Petro.	188	98	273	83	3	15	12	33	22	40	64	158	0	145	0	0	1134
Baker Hughes	229	4	74	22	107	35	74	35	37	13	0	0	0	235	0	0	865
SK Group	0	0	2	1	0	0	0	0	0	3	0	0	208	1	245	217	677
Sinopec	78	20	91	53	3	7	3	16	11	19	35	103	0	101	0	0	540
Petrochina	124	42	74	2	0	10	2	26	20	14	76	11	0	100	0	0	501
EXXON	42	12	40	3	16	34	21	6	6	61	10	0	0	70	0	0	321
Chevron	30	2	13	5	9	23	5	3	2	18	2	0	0	20	0	0	132
CNOOC	22	8	18	2	0	2	0	7	7	1	13	25	0	4	0	0	109
Shell	36	3	10	4	1	2	3	7	7	0	18	1	0	16	0	0	108
BP	10	10	18	2	0	4	1	8	0	2	20	0	0	7	0	0	82
Tatneft	2	0	0	1	0	0	0	9	0	1	34	0	0	29	0	0	76
Williams	4	1	3	1	1	2	1	1	0	31	2	0	1	1	6	0	55
Total	9	3	6	1	1	7	0	0	1	8	4	0	0	3	0	0	43
ConocoP.	12	2	3	0	4	1	1	0	0	2	1	0	0	14	0	0	40
Statoil	11	0	3	1	1	6	4	0	5	0	4	0	0	4	0	0	39
National	9	0	1	0	3	0	2	4	7	0	1	0	0	0	0	0	27
Gazprom	8	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	11
Ovintiv	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	10
Hess	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	2	0	0	0	9
ENI	2	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	7
Pioneer	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	0	0	7
Petrobras	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	4
Suncor	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Apache	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	4
Rosneft	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3
Transocean	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	3
GS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
Saipem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3
EOG Res.	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2
Repsol	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Idemitsu	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Phillips 66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	2
Occidental	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Valero	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Lukoil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Formosa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Woodside	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Total	1740	252	1047	302	425	264	294	247	264	314	313	301	213	1563	251	217	8007

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.1 Aplicação do MAIOP nos elos da Cadeia de Suprimento de Petróleo e Gás

A Cadeia de Suprimentos da área de Petróleo e Gás é composta por três diferentes elos (Figura 17) que envolvem todas as operações do setor (Lee et al. 2019). O elo primário, chamado *upstream* abrange as fases de prospecção, perfuração de poços e produção do petróleo cru; o *midstream* contempla as operações de beneficiamento da *commodity*, com etapas como fracionamento, processamento de gás e armazenagem dos produtos intermediários; e por fim, a última parte que se encontra a jusante da Cadeia, o elo *downstream* constitui-se das operações finais de produção e atividades de interface com os clientes do setor. Nessa última parte da cadeia podemos encontrar o refinamento e a distribuição dos produtos derivados do petróleo.

Segregar a Cadeia de Suprimento do setor de Petróleo e Gás é uma escolha válida para a continuidade da aplicação do MAIOP proposto nesta pesquisa pois há uma sensibilidade importante do modelo matemático de média-variância que deve apontar novas configurações de portfólios, com novos subgrupos e novos pesos, de acordo com cada recorte.

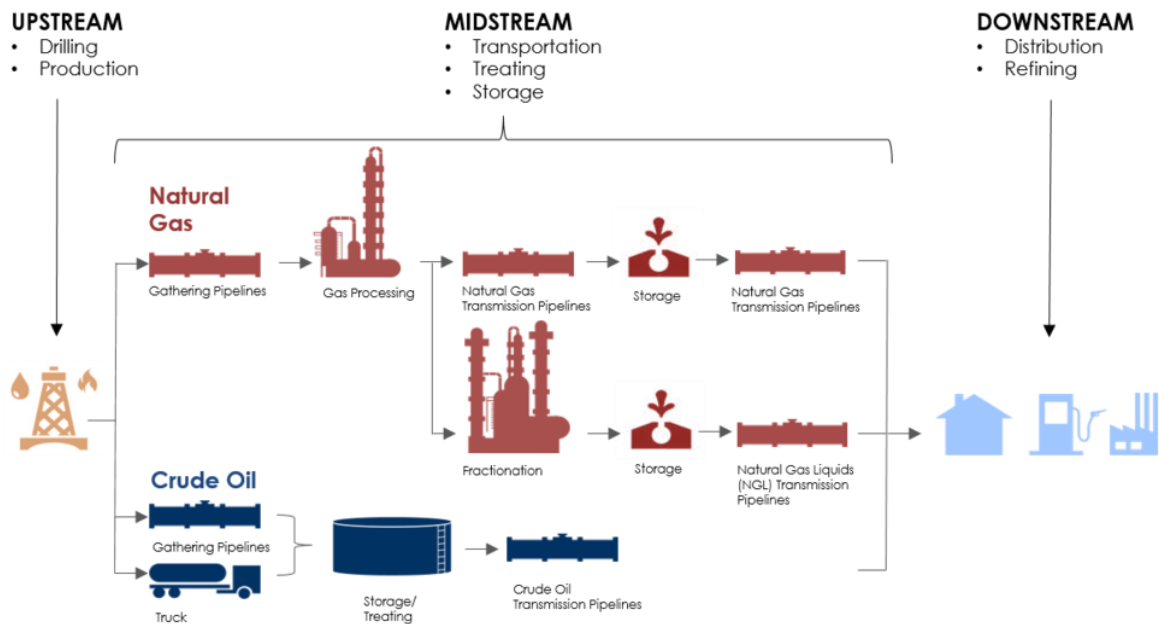


Figura 17. Cadeia de Suprimentos do setor de Petróleo e Gás.

Fonte: Extraído de Lee et al. (2019)

Como as empresas desse setor em muitos casos tem focos em diferentes elos da cadeia, suas atuações também em P&D tem resultados diferentes em termos de invenções e registro de patentes. Por esse motivo, buscou-se executar o MAIOP para cada um dos três elos da cadeia em separado. Dessa forma os resultados podem ser explorados de forma específica, ou seja, com os detalhes do que aquele recorte oferece de tecnologia para o setor. A lista das empresas com seus respectivos mercados de atuação em cada um dos elos consta no Anexo. A classificação das empresas em cada um dos elos foi realizada a partir de informações divulgadas em documentos oficiais e públicos para investidores (quando em empresas de capital aberto) ou a partir de informações presentes nos *websites* de cada instituição.

Há empresas que atuam em dois ou mesmo nos três elos dessa Cadeia de Suprimento. Isso revela o quão verticalmente integrada as organizações podem atuar para atender os clientes do setor. Das 97 empresas listadas, 54 atuam em somente um elo (56%), sendo 32 focadas em *upstream*, 10 no *midstream* e 12 no *downstream*. Do total de empresas, 11 se encontram posicionadas em dois elos (11%), sejam eles sequenciais ou no elo inicial e final, e finalmente 32 empresas participam em todos os elos (33%). Não coube aqui ponderar a intensidade de atuação das empresas em cada elo.

Como o setor apresenta uma configuração de empresas verticalizadas, que muitas vezes atendem planos de abastecimento nacionais ponta-a-ponta (BANGSUND e HODUR, 2017), não foi possível executar a aplicação do MAIOP para empresas 100% dedicadas em cada um dos 3 elos, principalmente para *midstream* e *downstream* que contam com pouco mais de 10 empresas focadas. Desse modo, assume-se que haverá certo viés e contaminação dos resultados específicos de cada recorte em virtude dessa atuação em mais de um elo. Os impactos disso serão comentados nos tópicos de cada aplicação e também em parte do tópico de discussão da tese na sessão 4.3.

O único ajuste realizado para esses novos 3 processamentos do MAIOP e que difere do processamento realizado para o todo o setor é a redução do valor de consolidação de citações (Etapa 6 do MAIOP) de 200 para 100 como filtro das opções de campos tecnológicos. Esse ajuste dinâmico, feito de forma arbitrária, endereça justamente a manutenção de um número razoável de opções de subgrupos de IPC elegíveis para cada portfólio já que as opções de subgrupos caem automaticamente quando se restringem o número de empresas participantes logo na definição do recorte (Etapa 1 do MAIOP), se comparado a aplicação em todo o setor de Petróleo e Gás.

Cabe destacar também que nessas novas aplicações foram criados 7 portfólios para cada um dos 3 novos processamentos, com riscos iguais, variando de 3% até 15%, diferentemente do processamento do setor inteiro que contou com 11 portfólios e risco entre 1% e 14%. Em tese é possível estabelecer quantos portfólios o pesquisador ou gestor de P&D determinar, respeitando somente o limite em que a solução do problema seja factível ou em que haja alguma modificação na variável de decisão, como em qualquer modelo de programação linear ou não-linear.

4.2.1.1 Aplicação nas empresas que atuam no elo *upstream*

No que tange o recorte da cadeia para o elo *upstream*, o processamento do modelo de otimização contou com uma pré-classificação de 73 empresa de um total de 81, ou seja 90% tem alguma participação nesse elo, que é o mais concentrado em termos de desenvolvimento de pesquisa no setor. Nesse elo as tecnologias estão ligadas as fases de prospecção, exploração, desenvolvimento do campo de petróleo e produção do óleo e do gás, com operações podem acontecer em terra (*onshore*) ou no mar (*offshore*).

Há nesse recorte uma aglomeração de empresas prestadoras de serviços para os proprietários ou detentores dos campos de petróleo. Essas organizações desenvolvem ferramentas e *softwares* para:

- Investigação de poços durante a perfuração do poço com tecnologia *Log While Drilling* (LWD) para obter informações físicas como testagem de resistividade ou eletromagnetismo.
- Investigação de poços após a perfuração com tecnologia *Wireline*.
- Emissão de radioatividade para leitura de hidrocarbonetos (densidade). É importante que seja constatado na rocha determinada permeabilidade e porosidade, combinação que permite a exploração.
- Investigações indiretas com sísmica de reflexão.
- “Retirada de testemunho” com extração de rocha para investigação em laboratório.
- Análises de quais trechos do poço devem ser cimentados e como devem ser alocados os tubos de produção.

- *Artificial lifting*, com tecnologias capazes de bombear o fluido para a superfície, por exemplo.

O conjunto de ferramentas que as empresas desenvolvem nessa fase da Cadeia oferece uma visão geral de todas as características e propriedades dos reservatórios (que compõe a rocha mais o fluido, que por sua vez pode ser o óleo, o gás ou a água que está preenchendo os poros) e que devem ser previamente conhecidos para o entendimento da real possibilidade e potencial de exploração e como ela deve ser feita da forma mais efetiva e econômica.

Os portfólios da Tabela 2 mostram o resultado do processamento para esse conjunto de empresas de acordo com o MAIOP, a partir da adequação do filtro para um consolidado de 100 citações (conforme supracitado). Essa etapa culminou na redução de um total de 15.855 para 110 subgrupos de IPCs. Como é possível observar, os portfólios seguiram um comportamento esperado para a relação entre risco e retorno inclusive com a diminuição, mesmo que sensível, do número de subgrupos de IPCs para níveis mais agressivos de risco, saindo de 6 para 5. O retorno esperado de crescimento com as citações nos subgrupos de IPCs otimizados variou de 35,6% com risco de 3% para um retorno de até 50,0% com um risco ajustado em 15%.

A composição de subgrupos também se alterou com a graduação de risco ao longo da CFE. O campo tecnológico G01N001508 foi aquele que teve maior impacto (sensibilidade), reduzindo de 63% para 36% entre os níveis de risco que foram dos extremos arbitrados de 3% para 15%, respectivamente. Com exceção dos subgrupos G01N001508 e E21B002900 (esse último que teve participação mínima de 1% apenas no portfólio mais conversador e que depois deixou de ser recomendado quando o risco foi incrementado), todos os outros subgrupos que apareceram na CFE tiveram participações crescentes no portfólio.

O campo G01N001508 apresentou a maior representatividade no portfólio, pois ele engloba justamente as tecnologias de investigação dos poros que são amplamente trabalhadas pelas empresas no início da Cadeia de Suprimentos.

Tabela 2. Resultado dos portfólios extraídos da aplicação do MAIOP nas empresas de *upstream*.

	Upstream						
Retorno (Média)	35,6%	39,5%	42,3%	44,6%	46,6%	48,3%	50,0%
Risco (Variância)	3%	5%	7%	9%	11%	13%	15%
Num. IPCs	6	5	5	5	5	5	5
G01N001508	63%	56%	51%	46%	42%	39%	36%
C09K0008035	15%	17%	18%	19%	19%	20%	21%
E21B002900	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
C08F022056	4%	7%	10%	13%	15%	17%	18%
C08F022058	2%	3%	4%	4%	4%	4%	5%
C12Q000168	15%	17%	18%	19%	19%	20%	21%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na CFE do *Upstream*, 2 campos tecnológicos foram coincidentes com aqueles que já apareceram no CFE do setor, os subgrupos G01N001508 e C09K0008035. Porém, outros 3 novos campos surgiram de forma inédita e estão representados no Quadro 4. Nesse quadro também conta com a descrição da WIPO para os subgrupos de IPCs que integram os portfólios da aplicação das empresas do *upstream*.

O resultado contou ainda com 1 novo nível de classe, isto é, que não havia aparecido na aplicação do MAIOP para o setor de Petróleo e Gás da sessão 4.2: **C12 - *biochemistry; beer; spirits; wine; vinegar; microbiology; enzymology; mutation or genetic engineering.***

Quadro 4. Subgrupos do processamento *upstream*

Subgrupo de IPC	Descrição do subgrupo de IPC
G01N001508	<i>Investigating permeability, pore volume, or surface area of porous materials [2006.01]</i>
C09K0008035	<i>Compositions for drilling of boreholes or wells; Compositions for treating boreholes or wells, e.g. for completion or for remedial operations [2006.01]. Organic additives [2006.01]</i>
E21B002900	<i>Cutting or destroying pipes, packers, plugs, or wire lines, located in boreholes or wells, e.g. cutting of damaged pipes, of windows (perforators E21B 43/11); Deforming of pipes in boreholes or wells; Reconditioning of well casings while in the ground [2006.01]</i>
C08F022056	<i>Homopolymers or copolymers of compounds having one or more unsaturated aliphatic radicals, each having only one carbon-to-carbon double bond, and only one being terminated by only one carboxyl radical or a salt, anhydride, ester, amide, imide, or nitrile thereof [2006.01]. Acrylamide; Methacrylamide [2006.01].</i>
C08F022058	<i>Copolymers of compounds having one or more unsaturated aliphatic radicals, each having only one carbon-to-carbon double bond, and only one being terminated by only one carboxyl radical or a salt, anhydride, ester, amide, imide, or nitrile thereof [2006.01] containing oxygen in addition to the carbonamido oxygen [2006.01]</i>
C12Q000168	<i>Measuring or testing processes involving enzymes, nucleic acids or microorganisms (measuring or testing apparatus with condition measuring or sensing means, e.g. colony counters, C12M 1/34); Compositions therefor; Processes of preparing such compositions [2006.01] involving nucleic acids [2018.01]</i>

Fonte: Elaborado pelo autor com base em WIPO (2019).

Na Figura 18 estão representados os resultados individualizados dos portfólios do *upstream* com destaque para o valor médio geral das 110 opções disponíveis de subgrupos ser de 2,2%, que é significativamente menor que o desempenho de todos os 7 cenários alcançados.

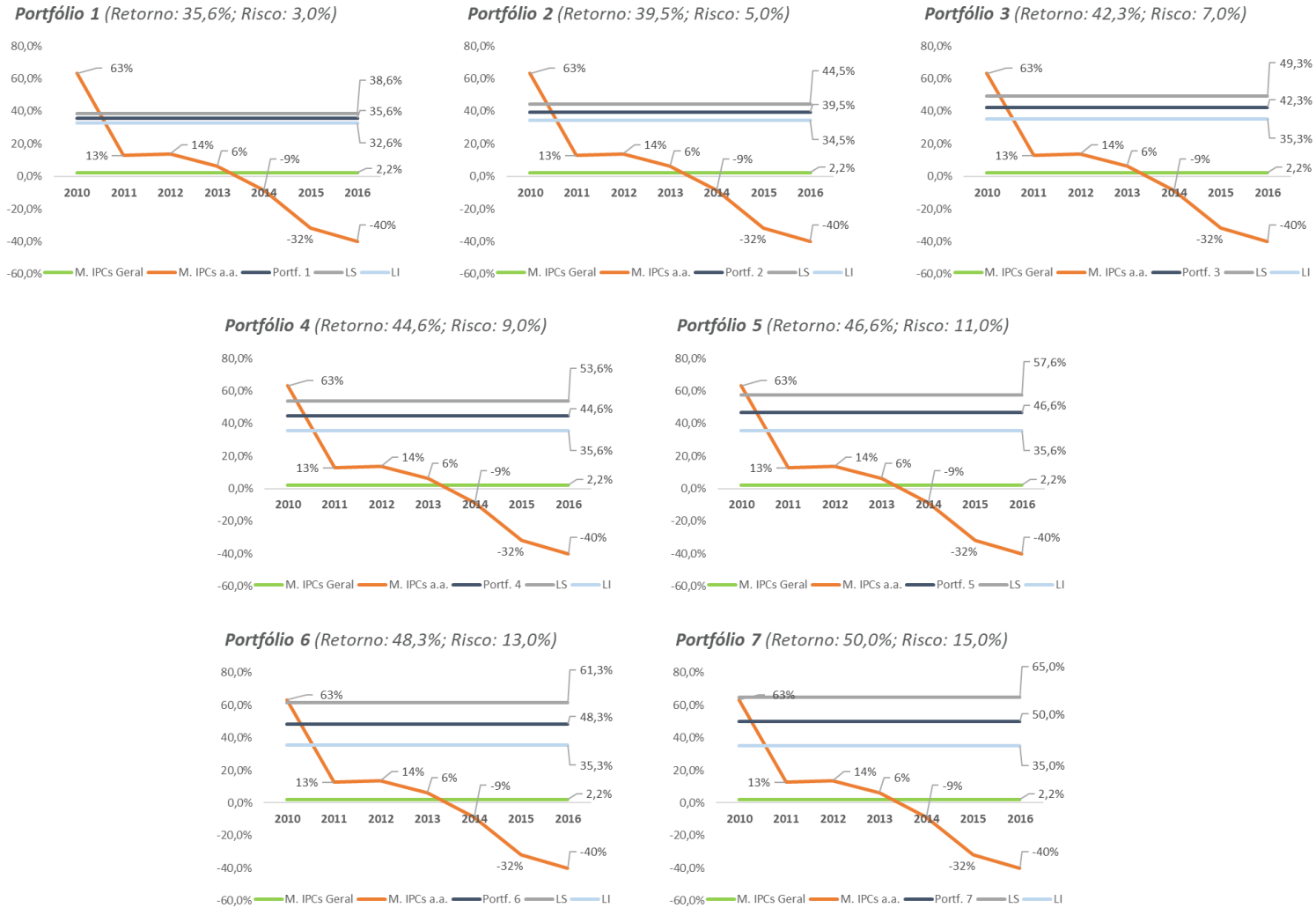


Figura 18. Desempenho dos 7 portfólios gerados pela base de Variação de Citações para as empresas de *upstream*.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 3 é possível ver quais empresas possuem maior quantidade de patentes nos portfólios de subgrupos de IPCs criados a partir do uso do MAIOP no *upstream*. Foram contabilizadas as patentes de todas as empresas do setor, mesmo que elas não estejam previamente classificadas com operações no elo *upstream*. Isso foi feito pois é possível que mesmo as empresas que não estão classificadas previamente como atuantes no mercado *upstream* possam ter desenvolvido alguma tecnologia nessa parte da Cadeia através de parceria ou cooperação. Com efeito, justifica-se essa decisão já que não há uma separação completa e inequívoca entre as classificações de IPC e os diferentes elos da Cadeia de Suprimentos.

Em função da verticalização desse setor no sentido a montante da Cadeia de Suprimentos, há grandes empresas nesse portfólio (*e.g.* China Petroleum e Petrochina) que podem enviesar a análise estrita do recorte *upstream*, já que suas tecnologias estão também presentes em outras partes da Cadeia. Como observam Swaray e Salisu (2018) o mercado global de Petróleo e Gás é dominado por empresas grandes e verticalmente integradas, além de empresas nacionais controladas por Estados. Ainda de acordo com os autores, esses dois tipos de empresas tendem a contratar empresas menores e não-integradas que tem ativos específicos para cumprir atividades mais técnicas em suas operações. Não obstante, é justo pontuar que há também uma quantidade de empresas de serviços que tem seu negócio focado exclusivamente nesse elo da cadeia e que desenvolvem tecnologias voltadas as fases iniciais do ciclo produtivo (*e.g.* Halliburton, Baker Hughes e Schlumberger).

As 5 primeiras empresas com maior número de patentes (representadas na Tabela 3) são responsáveis por aproximadamente 77% das patentes classificadas nessa CFE.

Tabela 3. Total de patentes por empresa e por subgrupo de IPC no processamento *upstream*.

	G01N001508	C09K0008035	C08F022056	E21B002900	C08F022058	C12Q000168	Total
China Petroleum	98	83	158	10	115	4	468
Pioneer	0	0	0	0	0	282	282
Sinopec	20	53	103	7	75	4	262
Halliburton	10	100	3	44	0	0	157
Baker Hughes	4	22	0	101	0	2	129
Williams	1	1	0	3	0	91	96
Schlumberger	37	19	0	36	0	0	92
Petrochina	42	2	11	6	6	0	67
CNOOC	8	2	25	5	5	0	45
EXXON	12	3	0	2	0	2	19
Shell	3	4	1	5	0	1	14
BP	10	2	0	0	0	1	13
National	0	0	0	10	0	0	10
Chevron	2	5	0	2	0	0	9
SK Group	0	1	0	0	0	4	5
Total	3	1	0	0	0	0	4
ConocoPhillips	2	0	0	0	0	1	3
Statoil	0	1	0	2	0	0	3
Hess	0	0	0	0	0	3	3
Gazprom	0	0	0	2	0	0	2
Idemitsu	0	2	0	0	0	0	2
ENI	0	0	0	0	0	1	1
Tatneft	0	1	0	0	0	0	1
Total	252	302	301	235	201	396	1687

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 4 é possível observar o comportamento dos subgrupos de IPC ao longo do período com as variações de citação entre os anos. Analisando as variações de cada subgrupo de IPC verifica-se que os desempenhos são diametralmente opostos com pelo menos uma variação negativa em pelo menos um subgrupo por ano. Essa configuração revela justamente as características de covariância negativa que trazem o efeito de mitigação de risco para o portfólio.

Tabela 4. Variações de citações dos subgrupos de IPCs do elo *upstream*

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	média
G01N001508	18%	38%	11%	75%	14%	43%	-33%	24%
C09K0008035	-13%	7%	173%	41%	31%	-34%	-64%	20%
E21B002900	117%	-46%	162%	-58%	-13%	0%	-45%	17%
C08F022056	233%	290%	-36%	140%	70%	-56%	-64%	82%
C08F022058	1000%	36%	7%	156%	105%	-70%	-68%	167%
C12Q000168	-25%	13%	194%	22%	-8%	-57%	0%	20%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como foi escolhido o tipo de citação *forward citation*, é comum que as citações nos anos mais recentes diminuam, atribuindo valores negativos de variação. Isso ocorre de maneira geral para todas as tecnologias em razão das patentes “foco” terem um ano de registro recente, recebendo assim poucas citações de patentes mais novas. Como o efeito é o mesmo para todas os subgrupos de IPCs, a queda nas variações de citação no final do período não representando um ponto negativo dentro do MAIOP. Contudo, é razoável pensar que pode haver um efeito de subestimação do resultado já que com o passar dos anos, e a adequada contabilização das citações, há um possível incremento de citações. Os valores médios de variação de citações que são utilizados no modelo média-variância devem se alterar positivamente com o passar dos anos.

4.2.1.2 Aplicação nas empresas que atuam no elo *midstream*

No elo *midstream*, que é o intermediário da cadeia, os portfólios contaram com a participação de patentes de 48 empresas, representando uma parcela de 59% do total de

empresas. Como somente 10 empresas atuam de forma exclusiva no *midstream*, há um impacto considerável dos outros dois elos nesse processamento.

Este recorte envolve as atividades de refino até o momento anterior a obtenção dos derivados que é aonde ocorre o processamento dos produtos de maior valor agregado advindos do setor de Petróleo e Gás. Nessa parte da Cadeia de Suprimentos, a logística, tanto no transporte quanto na armazenagem são as grandes protagonistas das operações, envolvendo o apoio e fornecimento de petróleo cru para as plantas de produção e a movimentação de gás natural para abastecimento da malha de distribuição que culminará no atendimento das atividades que virão na porção *downstream*.

Enquanto há vários meios de transporte para petróleo cru, o mais prático e econômico (principalmente para grandes distâncias) ainda é por dutovias no caso de transporte terrestre e em navios petroleiros dedicados, caso a extração tenha acontecido *offshore*. Em termos de armazenagem, as localidades normalmente escolhidas para as instalações de capacidades estáticas são na interligação de dutovias, regiões portuárias e perto de refinarias (KALITA, 2020).

O *midstream* endereça o desafio de estabelecer a compatibilização entre a oferta e demanda. A movimentação do gás processado, em seu estado gasoso, é realizada através de estruturas de gasodutos, que tanto podem estar localizados no mar ou em terra, a depender da localização do *site* de processamento e também do campo de produção.

Na Tabela 5 estão representados os resultados do MAIOP para as empresas do *midstream* com os mesmos ajustes de filtro de consolidação feitos no processamento do MAIOP para o elo do *upstream*. Nesse caso o filtro de 100 citações no consolidado reduziu o número de opções de 15.477 para 153 subgrupos de IPCs.

A CFE do *midstream* trouxe um resultado de retorno de variação de citações que oscilou de 45,6% até 68,0% com o risco atrelado de 3% até 15%, respectivamente. O campo C01B003948 mostrou maior destaque nessa CFE com uma participação de cerca de 30%, variando relativamente pouco mesmo com as diferentes graduações de risco. Nesse campo por exemplo são estudados os catalisadores para o processo de craqueamento catalítico do fluido de petróleo (quebra molecular), como por exemplo o grupo das Zeólitas (ou catalisadores zeolíticos), que desde os anos 60 ocupa a posto de catalisador mais importante na indústria de Petróleo e Gás (CORIOLANO et al. 2015).

Tabela 5. Resultado dos portfólios extraídos da aplicação do MAIOP nas empresas de *midstream*.

	Midstream						
Retorno (Média)	45,6%	51,4%	55,9%	59,6%	62,7%	65,4%	68,0%
Risco (Variância)	3%	5%	7%	9%	11%	13%	15%
Num. IPCs	7	7	6	6	6	6	6
C08F011002	25%	19%	14%	11%	8%	6%	4%
G01N001508	13%	23%	25%	24%	24%	23%	22%
E21B004326	18%	5%	0%	0%	0%	0%	0%
E21B001710	6%	10%	13%	14%	15%	16%	17%
C01B003948	28%	30%	32%	32%	32%	33%	33%
C10G006700	8%	9%	10%	11%	12%	13%	14%
C08F022058	1%	4%	6%	8%	9%	10%	11%

Fonte: Elaborado pelo autor.

A lista com o descritivo dos subgrupos de IPCs que apareceram nos portfólios *midstream* encontra-se no Quadro 5. Essa nova rodada de processamento apresentou como resultado 2 novos níveis de classe de IPC, **C01** - *inorganic chemistry* e **C10** - *petroleum, gas or coke industries; technical gases containing carbon monoxide; fuels; lubricants; peat*.

Quadro 5. Subgrupos do processamento *midstream*.

Subgrupo de IPC	Descrição do subgrupo de IPC
C08F011002	<i>Homopolymers of unsaturated aliphatic hydrocarbons having only one carbon-to-carbon double bond [2006.01] Ethene [2006.01]</i>
G01N001508	<i>Investigating permeability, pore volume, or surface area of porous materials [2006.01]</i>
E21B004326	<i>Methods or apparatus for obtaining oil, gas, water, soluble or meltable materials or a slurry of minerals from wells (applicable only to water E03B; obtaining oil-bearing deposits or soluble or meltable materials by mining techniques E21C 41/00; pumps F04) [2006.01]. by forming crevices or fractures [2006.01].</i>
E21B001710	<i>Drilling rods or pipes; Flexible drill strings; Kellies; Drill collars; Sucker rods; Casings; Tubings (rod couplings in general F16D; tubes or tube couplings in general F16L) [2006.01] Wear protectors; Centralising devices (drives used in the borehole with anchoring means E21B 4/18; guiding or centralising devices outside the borehole E21B 19/24) [2006.01]</i>

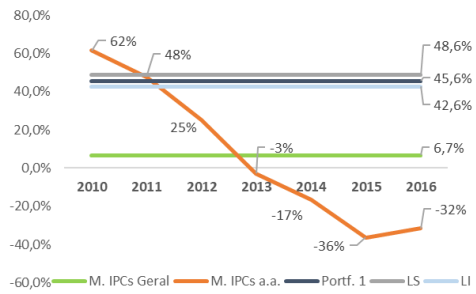
C01B003948	<i>Compounds having molecular sieve and base-exchange properties, e.g. crystalline zeolites; Their preparation; After-treatment, e.g. ion-exchange or dealumination (treatment to modify the sorption properties, e.g. shaping using a binder, B01J 20/10; treatment to modify the catalytic properties, e.g. combination of treatments to make the zeolites appropriate to their use as a catalyst, B01J 29/04; treatment to improve the ion-exchange properties B01J 39/14) [2006.01] using at least one organic template directing agent [2006.01]</i>
C10G006700	<i>Treatment of hydrocarbon oils by at least one hydrotreatment process and at least one process for refining in the absence of hydrogen only [2006.01]</i>

Fonte: Elaborado pelo autor com base em WIPO (2019).

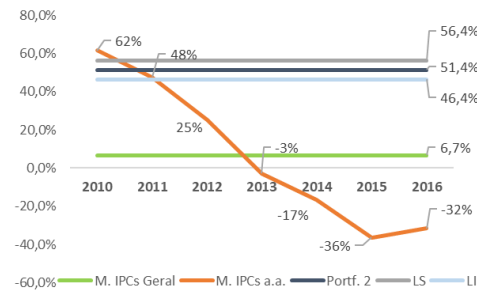
Como das 48 empresas que serviram de base para o processamento do MAIOP no recorte *midstream*, 38 possuem atuação em outros elos, houve de forma clara uma composição majoritária de CFE com tecnologias não ligadas ao elo intermediário. Principalmente a porção *upstream* foi representada com tecnologias das fases de perfuração de poço (E21B001710 e E21B004326) e investigação de rocha (G01N001508).

Na Figura 19 são destacados os gráficos de desempenho do portfólio frente a média geral das 153 opções disponíveis no período, que foi de 6,7%. Os resultados para todos cenários são consistentemente superiores que a média geral. Já a distribuição das patentes de empresas na CFE do *midstream* encontra-se na Tabela 6.

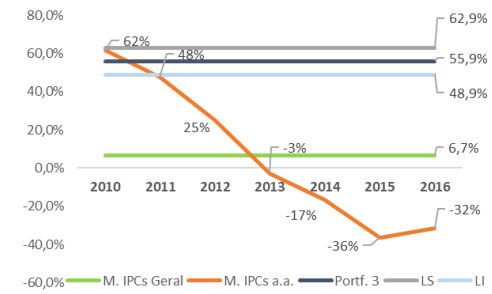
Portfólio 1 (Retorno: 45,6%; Risco: 3,0%)



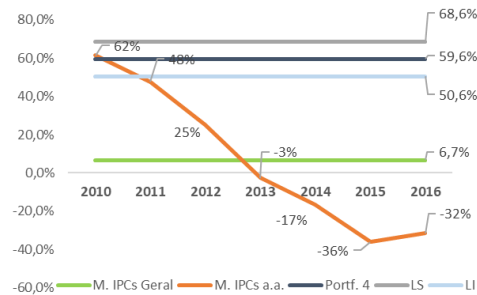
Portfólio 2 (Retorno: 51,4%; Risco: 5,0%)



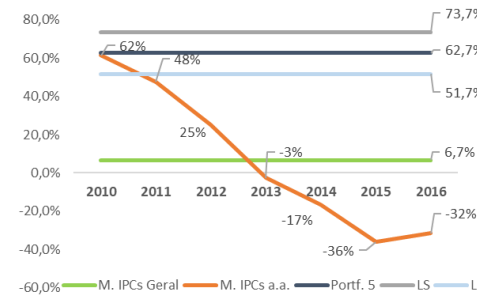
Portfólio 3 (Retorno: 55,9%; Risco: 7,0%)



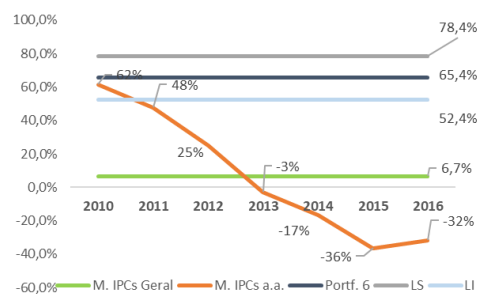
Portfólio 4 (Retorno: 59,6%; Risco: 9,0%)



Portfólio 5 (Retorno: 62,7%; Risco: 11,0%)



Portfólio 6 (Retorno: 65,4%; Risco: 13,0%)



Portfólio 7 (Retorno: 68,0%; Risco: 15,0%)

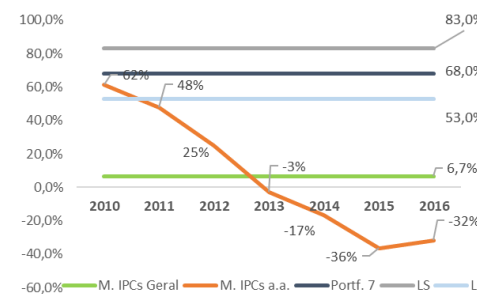


Figura 19. Desempenho dos 7 portfólios gerados pela base de Variação de Citações para as empresas de *midstream*.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 6. Total de patentes por empresa e por subgrupo de IPC no processamento *midstream*

	G01N001508	E21B004326	C08F011002	E21B001710	C01B003948	C10G006700	C08F022058	Total
China Petroleum	98	145	27	34	11	95	115	525
Schlumberger	37	401	0	56	0	0	0	494
Halliburton	10	393	0	65	0	0	0	468
EXXON	12	70	116	17	116	7	0	338
Baker Hughes	4	235	0	56	0	0	0	295
Sinopec	20	101	14	18	8	44	75	280
Petrochina	42	100	4	27	1	4	6	184
Chevron	2	20	96	5	58	0	0	181
Tatneft	0	29	0	2	0	0	0	31
Total	3	3	18	0	0	0	0	24
BP	10	7	3	3	0	0	0	23
CNOOC	8	4	0	5	0	1	5	23
Shell	3	16	0	3	1	0	0	23
ConocoPhillips	2	14	2	0	0	1	0	19
Statoil	0	4	0	8	0	0	0	12
National	0	0	0	8	0	0	0	8
Ovintiv (former Encana)	0	5	0	0	0	0	0	5
Pioneer	0	5	0	0	0	0	0	5
SK Group	0	1	3	0	0	1	0	5
ENI	0	1	0	0	1	1	0	3
Reliance	0	0	3	0	0	0	0	3
INPEX	0	0	0	0	0	3	0	3
Rosneft	0	2	0	0	0	0	0	2
Williams	1	1	0	0	0	0	0	2
Apache	0	2	0	0	0	0	0	2
Gazprom	0	1	0	0	0	0	0	1
Petrobras	0	0	1	0	0	0	0	1
EOG Resources	0	1	0	0	0	0	0	1
Idemitsu	0	0	1	0	0	0	0	1
Phillips 66	0	1	0	0	0	0	0	1
Woodside	0	1	0	0	0	0	0	1
Tenaris	0	0	0	1	0	0	0	1
Indian Oil	0	0	0	0	0	1	0	1
Total	252	1563	288	308	196	158	201	2966

Fonte: Elaborado pelo autor.

O comportamento dos subgrupos de IPC que estão nessa CFE, ao longo do período de 2010 e 2016 pode ser visualizado na Tabela 7. As variações continuam atestando a característica de covariância negativa com um *mix* de opções que apresentam comportamento distinto e auxiliam, portanto, na redução do risco.

Tabela 7. Variações de citações dos subgrupos de IPCs do elo *midstream*

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	média
C08F011002	133%	-5%	-5%	47%	-57%	83%	-14%	26%
G01N001508	-29%	140%	33%	13%	83%	33%	-23%	36%
E21B004326	25%	50%	140%	-17%	117%	-12%	-12%	41%
E21B001710	50%	-67%	600%	7%	33%	25%	-44%	86%
C01B003948	7%	-38%	-40%	150%	20%	0%	-6%	13%
C10G006700	100%	700%	75%	-67%	0%	-93%	700%	202%
C08F022058	700%	88%	-13%	85%	96%	-77%	-36%	120%

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.1.3 Aplicação nas empresas que atuam no elo *downstream*

Já no último elo da Cadeia de Suprimentos, os resultados foram obtidos a partir de informações de 51 empresas, representando aproximadamente 63% da amostra total trabalhada para o setor de Petróleo e Gás. Com o filtro de 100 citações no consolidado o número de opções caiu de um total de 15.093 para 56 subgrupos de IPCs sujeitos a avaliação do algoritmo não-linear.

O *downstream* é a parte final da Cadeia que conta com o transporte dos produtos da refinaria ou gasodutos até os locais de venda para os consumidores. Incorpora também a própria fase de refino (separação das frações) em que são extraídos inúmeros subprodutos. Os derivados produzidos nessa última etapa de beneficiamento são muitos, dentre eles a benzina, nafta, gasolina, querosene, óleo diesel, óleos lubrificantes, asfalto, piche, coque, parafina, além do GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) e GNV (Gás Natural Veicular) que já chegam como produtos acabados. Cabe pontuar que o petróleo a ser destilado passa por uma avaliação laboratorial, para verificar sua adequação ao processo de refino e saber a possibilidade de obtenção de cada derivado.

As fases de *marketing* e as atividades comerciais de varejo, que tratam da interface com o consumidor final, também compõe essa fase final da Cadeia, que tem seus resultados de portfólio para o MAIOP apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Resultado dos portfólios extraídos da aplicação do MAIOP nas empresas de *downstream*.

	Downstream						
Retorno (Média)	21,9%	26,4%	30,0%	32,8%	34,5%	35,6%	36,4%
Risco (Variância)	3%	5%	7%	9%	11%	13%	15%
Num. IPCs	7	7	6	5	4	4	4
G01N001508	36%	53%	61%	63%	53%	46%	38%
E21B004314	10%	3%	0%	0%	0%	0%	0%
C09K0008035	4%	7%	9%	11%	13%	15%	17%
C09K000868	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
E21B004400	16%	13%	7%	0%	0%	0%	0%
G01V000136	0%	8%	16%	23%	25%	27%	28%
C09K0008584	0%	0%	1%	2%	0%	0%	0%
C09K0008588	0%	0%	0%	1%	8%	12%	16%
E21B004301	6%	2%	0%	0%	0%	0%	0%
B01D005314	25%	14%	6%	0%	0%	0%	0%

Fonte: Elaborado pelo autor.

O resultado em termos de retorno da CFE *downstream* variou de 21,9% a 36,4% com o risco mantendo o mesmo range para todos os elos que foi de 3% a 15%, respectivamente. A contínua presença e ainda de forma significativa do campo G01N001508 nessa CFE (variando de 36% a 63%) simboliza a característica de verticalização das empresas no setor e sinaliza para a necessidade de uma segmentação ainda maior para que o *midstream* seja de fato representado, já que esse campo tecnológico não está ligado a essa fase da cadeia e sim ao *upstream*.

Na última fase da cadeia um novo nível de classe de IPC surgiu, **B01** - *physical or chemical processes or apparatus in general*.

Quadro 6. Subgrupos do processamento *downstream*

Subgrupo de IPC	Descrição do subgrupo de IPC
G01N001508	<i>Investigating permeability, pore volume, or surface area of porous materials [2006.01]</i>
E21B004314	<i>Methods or apparatus for obtaining oil, gas, water, soluble or meltable materials or a slurry of minerals from wells (applicable only to water E03B; obtaining oil-bearing deposits or soluble or meltable materials by mining techniques E21C 41/00; pumps F04) [2006.01] Obtaining from a multiple-zone well [2006.01]</i>
C09K0008035	<i>Compositions for drilling of boreholes or wells; Compositions for treating boreholes or wells, e.g. for completion or for remedial operations [2006.01]. Organic additives [2006.01]</i>
C09K000868	<i>Compositions for drilling of boreholes or wells; Compositions for treating boreholes or wells, e.g. for completion or for remedial operations [2006.01] containing organic compounds [2006.01]</i>
E21B004400	<i>Automatic control systems specially adapted for drilling operations, i.e. self-operating systems which function to carry out or modify a drilling operation without intervention of a human operator, e.g. computer-controlled drilling systems (for non-automatic drilling control, see the operation controlled; automatic feeding from rack and connecting of drilling pipes E21B 19/20; controlling pressure or flow of drilling fluid E21B 21/08); Systems specially adapted for monitoring a plurality of drilling variables or conditions (means for transmitting measuring-signals from the well to the surface E21B 47/12) [2006.01]</i>
G01V000136	<i>Seismology; Seismic or acoustic prospecting or detecting [2006.01] Effecting static or dynamic corrections on records, e.g. correcting spread; Correlating seismic signals; Eliminating effects of unwanted energy [2006.01]</i>
C09K0008584	<i>Compositions for drilling of boreholes or wells; Compositions for treating boreholes or wells, e.g. for completion or for remedial operations [2006.01] characterised by the use of specific surfactants [2006.01]</i>
C09K0008588	<i>Compositions for drilling of boreholes or wells; Compositions for treating boreholes or wells, e.g. for completion or for remedial operations [2006.01] characterised by the use of specific polymers [2006.01]</i>
E21B004301	<i>Methods or apparatus for obtaining oil, gas, water, soluble or meltable materials or a slurry of minerals from wells (applicable only to water E03B; obtaining oil-bearing deposits or soluble or meltable materials by mining techniques E21C 41/00; pumps F04) [2006.01] specially adapted for obtaining from underwater installations (underwater well heads E21B 33/035) [2006.01]</i>

B01D005314	<i>Separation of gases or vapours; Recovering vapours of volatile solvents from gases; Chemical or biological purification of waste gases, e.g. engine exhaust gases, smoke, fumes, flue gases or aerosols (recovery of volatile solvents by condensation B01D 5/00; sublimation B01D 7/00; cold traps, cold baffles B01D 8/00; separation of difficult-to-condense gases or air by liquefaction F25J 3/00) [2006.01] by absorption [2006.01]</i>
------------	---

Fonte: Elaborado pelo autor com base em WIPO (2019).

Esse resultado final se mostrou aquele com menor aderência ao elo específico da cadeia analisada, já que nenhum campo tecnológico da CFE é cativo do *midstream*. Isso porque empresas que somente atuam isoladamente nesse elo representam apenas 15% do universo analisado (12 empresas). Logo o processamento desse recorte recebe a influência direta de empresas que também atuam nos outros dois elos predecessores da Cadeia.

O resultado do *midstream* evidencia de maneira definitiva que a escolha por separar os elos através da classificação das empresas de Petróleo e Gás traz um impacto não desejável para quem busca uma análise mais precisa de cada parte da Cadeia. Outras opções de classificação devem ser adotadas para esse fim, como o foco na separação dos campos tecnológicos. Um bom exemplo dessa forma de classificação pode ser o IPC *Green Inventory* da WIPO que já delimita “patentes verdes” com tecnologias capazes de atenuar a necessidade de recursos envolvidos em processos produtivos e/ou que abrandam emissão de resíduos no meio ambiente.

Como complemento dos resultados encontram-se na Tabela 9 as patentes que cada empresa tem na CFE do *downstream* e na Figura 20 estão plotados cada um dos portfólios gerados. O desempenho médio geral das 53 opções do *midstream* foi de 5,3%, também significativamente menor que aquele gerado nos portfólios, que começam em 21,9% para a menor graduação de risco (3%).

Tabela 9. Total de patentes por empresa e por subgrupo de IPC no processamento *downstream*

	G01N001508	C09K0008035	E21B004314	C09K000868	E21B004400	G01V000136	C09K0008584	C09K0008588	E21B004301	B01D005314	Total
China Petroleum	98	83	11	47	23	91	102	153	12	38	658
Schlumberger	37	19	37	85	153	93	11	28	16	1	480
Halliburton	10	100	62	150	91	5	14	35	5	0	472
Sinopec	20	53	8	29	7	51	61	67	2	26	324
Baker Hughes	4	22	17	65	66	6	12	4	11	3	210
Petrochina	42	2	32	35	6	24	34	19	1	1	196
EXXON	12	3	23	2	9	38	1	4	28	47	167
Shell	3	4	8	3	19	8	16	3	28	53	145
Chevron	2	5	2	3	2	7	17	11	14	27	90
CNOOC	8	2	1	2	5	7	7	17	7	0	56
BP	10	2	3	2	5	8	0	1	13	1	45
Statoil	0	1	4	0	0	1	0	3	23	12	44
ConocoPhillips	2	0	2	4	1	8	0	9	6	3	35
National	0	0	1	0	32	0	0	0	2	0	35
Total	3	1	0	0	1	0	1	1	4	19	30
Tatneft	0	1	24	0	0	0	2	0	0	1	28
Petrobras	0	0	0	1	0	1	2	1	16	0	21
Saipem	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	10
ENI	0	0	0	0	0	0	0	0	7	2	9
Phillips 66	0	0	0	0	0	0	0	3	0	4	7
Gazprom	0	0	2	0	0	0	1	0	0	2	5
Williams	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	4
Suncor	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3
Transocean	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
Idemitsu	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Lukoil	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
Woodside	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	2
ENCANA	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
Occidental	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
SK Group	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
NESTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Total	252	302	243	430	420	349	281	359	203	248	3087

Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 20. Desempenho dos 7 portfólios gerados pela base de Variação de Citações para as empresas de *downstream*.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 10 é possível observar o gráfico do comportamento dos subgrupos de IPC ao longo do período com o comportamento de variações de citação entre os anos. A restrição a função objetivo que trata do risco a partir da análise de covariância continua atuando para a diversificação com a sugestão de campos tecnológicos com comportamentos diferentes.

Tabela 10. Variações de citações dos subgrupos de IPCs do elo *downstream*

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	média
G01N001508	-14%	117%	23%	19%	68%	38%	-23%	32%
E21B004314	-50%	80%	44%	15%	-7%	171%	-68%	27%
C09K0008035	-11%	-38%	240%	82%	-13%	-59%	27%	33%
C09K000868	-40%	78%	-38%	230%	30%	-51%	-38%	24%
E21B004400	71%	-67%	25%	120%	-9%	-10%	-44%	12%
G01V000136	171%	-42%	127%	24%	-3%	23%	-68%	33%
C09K0008584	50%	173%	-61%	113%	3%	-51%	-24%	29%
C09K0008588	50%	425%	-48%	15%	18%	-76%	0%	55%
E21B004301	64%	6%	-11%	18%	-50%	50%	-33%	6%
B01D005314	76%	-3%	59%	-59%	47%	-75%	43%	13%

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.2 Rede das Curvas de Fronteiras Eficientes da Cadeia de Suprimento de Petróleo e Gás

Partindo-se das CFEs obtidas em cada aplicação do MAIOP, seja no setor ou em cada elo da Cadeia de Suprimentos do setor de Petróleo e Gás, é possível construir uma visão em rede das conexões geradas. A Figura 21 retrata justamente uma rede tripartida contendo nós e ligações entre o setor e elos da Cadeia (nós verdes), empresas (nós roxos) e os subgrupos de IPCs (nós laranjas) que apareceram nos portfólios.

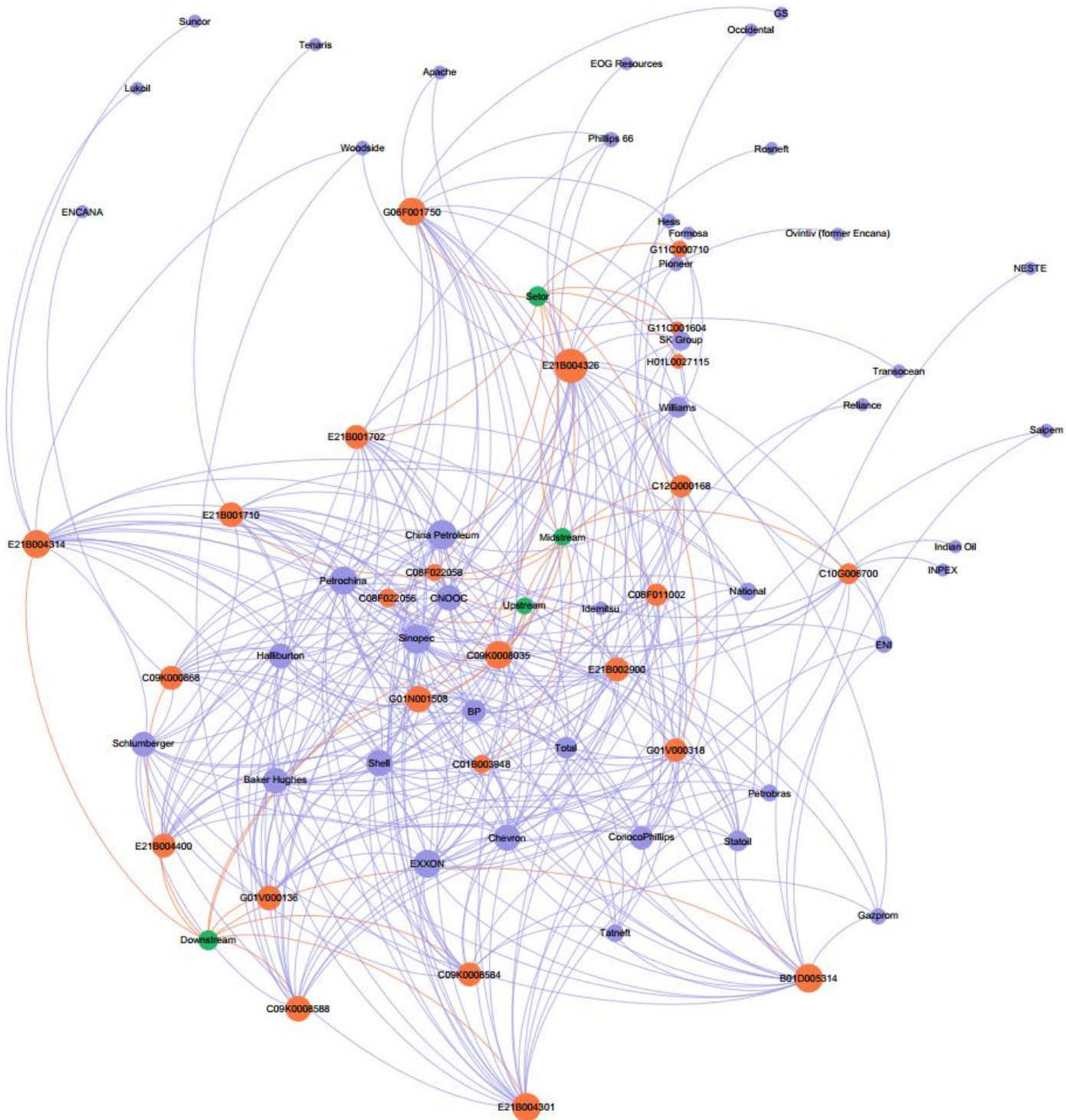


Figura 21. Rede tripartida de setor e elos, subgrupos de IPCs e empresas do setor.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A rede evidência que alguns nós possuem mais ligações que outros. Essa característica é na realidade uma métrica da Análise de Redes Sociais (ARS), chamada *grau de nós* que é constituída pelo somatório de conexões que um nó apresenta. Na Tabela 11, optou-se por apresentar os graus a partir da ótica dos subgrupos de IPCs. Essa construção auxilia no entendimento dos resultados da aplicação do MAIOP nessa pesquisa à medida que: (i) demonstra quais tecnologias aparecem de forma recorrente mesmo em CFEs com recortes analíticos diferentes; (ii) identifica quais tecnologias estão presentes em um número maior de empresas através dos registros de patentes que tais empresas fizeram.

Tabela 11. Grau de nós dos campos tecnológicos na rede tripartida

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c = a+b</i>
	Setor/Elos	Empresas	Grau de nó
G01N001508	4	56	60
C09K0008035	3	51	54
E21B004326	2	52	54
C08F022056	2	12	14
C08F022058	2	8	10
E21B004301	1	20	21
B01D005314	1	20	21
G06F001750	1	19	20
E21B004314	1	19	20
C09K0008588	1	16	17
E21B001710	1	15	16
G01V000136	1	15	16
E21B002900	1	14	15
E21B001702	1	14	15
C09K000868	1	14	15
E21B004400	1	14	15
C09K0008584	1	14	15
G01V000318	1	13	14
C12Q000168	1	12	13
C08F011002	1	12	13
C10G006700	1	10	11
C01B003948	1	7	8
G11C000710	1	5	6
H01L0027115	1	2	3
G11C001604	1	1	2

Fonte: Elaborado pelo autor.

Essa forma de interpretação dos resultados é comum na Pesquisa Operacional, em que são produzidos diversos cenários, com alterações nos parâmetros de entrada, para testagem de um mesmo modelo. Ao final é realizado um cruzamento de todas as saídas para discussão dos resultados mais consistentes ou resilientes. Isto é, os resultados que aparecem com maior frequência ou menor variação nos cenários processados conferem um maior grau de relevância ou influência na implementação da solução. Dessa forma é possível observar quais decisões são mais confiáveis de serem executadas mesmo quando há alterações de parâmetros que estão ligados a incertezas inerentes ao ambiente estudado.

No caso de Petróleo e Gás as tecnologias G01N001508 com 4 graus, C09K0008035 com 3 graus e E21B004326, C08F022056 e C08F022058 com 2 graus, foram as que apareceram em mais de um cenário nas amarrações com Setor/Elo. É razoável afirmar que mesmo com uma mudança importante de parâmetro de entrada representada por diferentes recortes de cadeia, tais tecnologias têm alto grau de relevância e, portanto, devem ser consideradas e analisadas dentro do processo de formação do portfólio de P&D das empresas.

4.3 Discussão dos resultados

O gestor de P&D pode fazer bom uso do MAIOP que se utiliza da teoria de Markowitz, considerando principalmente os *insights* de gestão de risco que ele traz. Ponderar que possam haver “bolhas” nos investimentos de P&D, com a concentração demasiada em determinado campo tecnológico, ou que há de fato uma relação de influência das invenções que são registradas em um mesmo ano, podem não ser questões triviais ou que sejam atualmente endereçadas nos métodos tradicionais aplicados na seleção de projetos de inovação. A gestão dos riscos atrelados a construção de um portfólio de P&D deve acontecer a partir do momento em que os gestores das organizações tenham as percepções de probabilidade e impacto negativo que a não diversificação tecnológica pode trazer no ambiente de negócios. Evidentemente que eliminar os riscos é uma tarefa utópica pois demandaria o conhecimento pleno dos caminhos futuros das tecnologias de determinado setor ou campo de atuação, ou seja, o que se deveria perseguir seria a mitigação do risco através da implementação de técnicas, ferramentas ou análises que subsidiem decisões nesse sentido.

De forma pragmática as empresas que buscam diversificação podem optar por análises de mercado que falem sobre o desenvolvimento futuro do setor, sobre como seus concorrentes

projetam seus negócios ou como deveriam desenhar seu planejamento estratégico. Caso alguma ou várias dessas análises sejam consideradas durante as etapas de construção do portfólio de P&D, é possível que a empresa já pratique mitigação de riscos na medida em que o exercício de predição tenha sucesso em suas previsões. O que se propõe nessa tese é uma ferramenta mais cartesiana que traria para o processo de criação do portfólio de P&D um elemento quantitativo com indicações de campos tecnológicos e pesos de alocação através de escolhas que minimizem riscos diversificáveis passando por escolhas ótimas através da análise dos comportamentos de correlação dos campos tecnológicos.

Utilizando as bases de patentes, com enfoque nas citações recebidas como *proxys* da importância das inovações, e estabelecendo que é plausível essa relação de influência e correlação entre as tecnologias ao longo do tempo, o método ganha espaço e pode ser utilizado como uma ferramenta complementar no processo de criação de portfólios em P&D. Em relação a importância das citações, esse é um ponto relevante de discussão pois quando se utiliza o método proposto nessa tese tem-se como premissa que qualquer empresa que investe em P&D está buscando tecnologias que recebam muitas citações (e de forma crescente) como retorno desejável e que isso é em certa medida um sinal de sucesso da invenção. Pode não ser comum pensar que isso é de fato algo perseguido pelos gestores quando eles estão construindo o portfólio, já que medidas e indicadores de retorno financeiro normalmente são direcionadores mais usuais.

Um novo *framework* que trata justamente da utilização dos resultados (no nível empresarial) pós-processamento é sugerido na Figura 22. A forma como o resultado pode ser interpretado no nível das empresas merece destaque, já que mesmo sendo composto por patentes de empresas em sua construção, o MAIOP traz como resultado final um valor consolidado por agrupamento tecnológico. Com isso, caberá ao gestor entender mais sobre os agrupamentos “vencedores” e fazer o uso dos percentuais (que podem ser traduzidos em investimentos de recursos) para apostas ainda mais específicas durante a real construção do portfólio de P&D empresarial. Por exemplo, se o MAIOP sugerir um investimento de 21% no campo B (exemplificação da Figura 22), caberá ao gestor que está à frente da formação do portfólio definir quais projetos de P&D, que estejam em linha com este campo tecnológico, se encaixariam melhor no nível empresarial. Com efeito, entende-se que a indicação do campo tecnológico na figura de subgrupo de IPC já é uma contribuição para que o gestor de P&D possa direcionar seu trabalho de construção do portfólio.

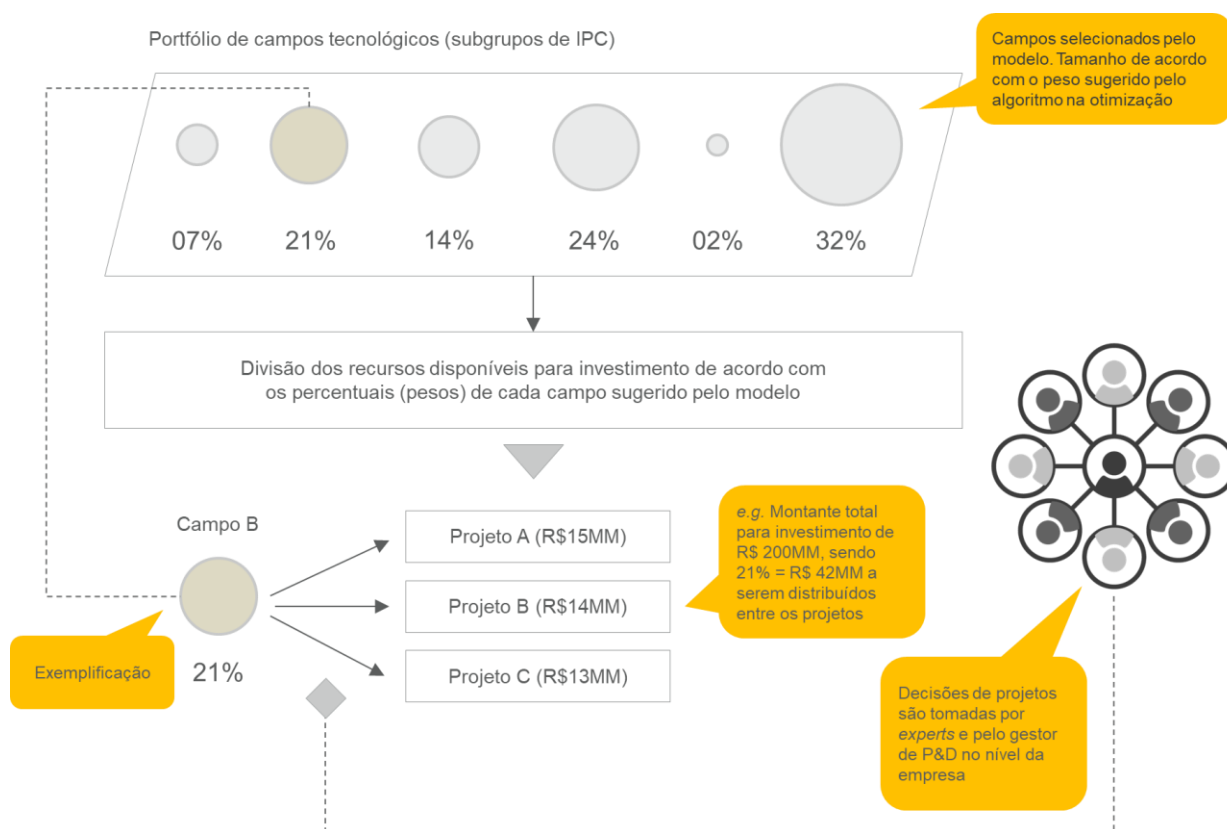


Figura 22. *Framework* com a recomendação do uso dos resultados no nível empresarial.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A questão dos percentuais de investimento por campo tecnológico também é relevante para discussão pois vale uma análise dedicada do gestor em entender se os valores de saída do modelo se encaixam com o montante de recursos que sua empresa tem disponível para investimento em P&D. Por exemplo, caso um investimento em determinado campo seja indicado para ocorrer com apenas 1% dos recursos e o montante da empresa seja de R\$200 milhões, isso resultaria em R\$2 milhões para alocação, o que pode ser pouco caso os investimentos nesse campo sejam de ordem de grandeza historicamente maior que isso. É possível que sejam feitos ajustes no modelo para que hajam percentuais mínimos de alocação com a aplicação de simples restrições matemáticas. Dessa forma a empresa pode adequar melhor seu montante de investimento sem abrir mão de ter essa ferramenta para gerenciar riscos. É relevante salientar que a adição de novas restrições que limitam as variáveis de decisão para um valor mínimo ou máximo de investimento devem ser feitas diretamente no modelo, de tal forma que após um novo processamento da modelagem matemática sejam garantidas as

condições de “otimalidade” do resultado. Caso um gestor opte, por exemplo, por arredondar arbitrariamente os percentuais obtidos no MAIOP, é possível que ele não tome as melhores decisões, já que quaisquer mudanças nos pesos de um portfólio podem alterar significativamente não só os resultados finais como também a composição do próprio portfólio.

O entendimento dos gestores é facilitado quando da avaliação sobre a mitigação dos riscos no nível empresarial. Isso acontece pois eles têm acesso a todas as iniciativas de P&D que a empresa investe, o que não necessariamente não se limita aos protótipos, invenções ou até mesmo no P&D que resulta em patente. Inclusive por isso, descobrir a real alocação de todo o investimento empresarial demandaria uma avaliação mais complexa dentro das etapas de pesquisa que é de difícil acesso a aqueles que não estejam ligados à (s) empresa (s). Por esse motivo, seria impreciso dizer que as empresas que apresentaram mais patentes nos portfólios de Petróleo e Gás (ou nos portfólios dos elos) estão completamente alinhadas com uma estratégia de gestão de risco do MAIOP, haja vista que uma visão mais holística de todo o investimento feito por essas deveria ser feita com o intuito de avaliar os projetos com patentes submetidas, os projetos em andamento, os projetos que deram certo mas que não viraram patente, aqueles que não deram certo, entre outras possibilidades de saída do plano de P&D.

Outro ponto de atenção para o gestor que pretende usar o MAIOP está relacionado ao respeito do resultado completo de saída do modelo. No caso do gestor de P&D que concordar com somente parte das indicações feitas pelo algoritmo de otimização, realizando os investimentos de forma parcial, o mesmo deve estar ciente de que não poderá esperar os mesmos resultados de retorno percentuais processados. Isso porque como já foi salientado, há uma construção de otimização com balanceamento de risco por correlação que é feita de forma sistemática e que deve ser seguida. Para que o gestor tenha mais sucesso nas eliminações de campos indesejáveis, faz sentido ou excluir esses campos em filtros pré-processamento ou ainda incluir restrições no modelo matemático que façam isso durante o processamento do algoritmo.

Não há também nenhuma garantia de que os projetos escolhidos pelos gestores a partir dos campos tecnológicos (ou qualquer outro arranjo definido pelo usuário do MAIOP) irão ter o desempenho (de retorno) calculado pelo modelo no que diz respeito a serem tecnologias patenteadas e que tenham citações crescentes ao longo do tempo. Isso porque o desempenho verificado no passado pode não ser refletido no futuro e além disso as possíveis patentes registradas podem também não ser as mais referenciadas / citadas dentro daquele campo no

futuro. A utilização da ferramenta nesse caso funciona como um indicativo de que aquelas opções combinadas (selecionadas na otimização) podem representar um portfólio sustentável para o setor, porém considerando somente uma avaliação do comportamento histórico. Não obstante, esse método pode ser combinado com outros ou até mesmo com a análise de *experts* no mercado em que for aplicado para potencializar os direcionamentos de investimento.

Cabe ponderar que pode ser difícil também para o gestor antever que determinado investimento em projeto de P&D gerará sequer uma patente no futuro e que essa patente será classificada em determinado campo tecnológico dada as incertezas inerentes do processo de pesquisa e desenvolvimento de produtos ou serviços. É razoável pensar que quando um projeto de P&D é discutido em seu nível mais primitivo (ainda como uma intenção estruturada ou esboço de iniciativa pelas áreas ou *experts* da empresa) nem todas as possibilidades de resultado podem ser previstas, inclusive a intenção de proteger uma invenção que é o direcionador para o registro de patente.

Em relação ao uso das três bases de dados propostas nesse trabalho durante a seção 4.2, fica evidente que há uma questão de normalidade a ser analisada e comentada. Esse trabalho não propõe exaurir as discussões quanto ao emprego dessa premissa (dentro do modelo de média-variância), mas busca mostrar que podem existir opções a serem trabalhadas no MAIOP que enderecem esse ponto, e que interpretações diferentes são possíveis para diferentes dados de entrada. Vale pontuar que nas duas primeiras bases, que lidam apenas com a contagem de citações, os números se limitam ao conjunto dos números positivos. Isso traz a implicação de que não haverá uma “cauda longa” a esquerda de uma possível curva de distribuição normal (valor mínimo será zero nas séries de dados), implicando em limitações claras para essa aplicação. Já com a adoção das variações de citações essa questão já é endereçada e as series de dados apresentam provável normalidade em 85% dos testes feitos.

É crível especular sobre a criação de novos tipos de bases com adaptações diferentes e que tenham melhor adequação fazendo uso de índices, séries estatisticamente trabalhadas, ou qualquer outra adaptação que vise melhorar ainda mais a consistência dos resultados do MAIOP em trabalhos futuros. Outras técnicas de aferição do comportamento Gaussiano, diferentes de Shapiro-Wilk, também podem vir a contribuir para o aperfeiçoamento dessa questão.

O comportamento de normalidade é algo que se discute com frequência na literatura que trata dos modelos inspirados na teoria de Markowitz. Inclusive já existem compilações de

trabalhos como Byrne e Lee (1997) e Esch (2010), que trazem uma série de abordagens analíticas para o tema. Torna-se evidente com a análise desses trabalhos que, com exceção de números populacionais bem definidos, as bases usualmente utilizadas para o modelo de média-variância, inclusive a de ativos financeiros, falham em se mostrar com comportamento normal. Isso de certa forma incentiva os pesquisadores a propor novas adaptações do modelo, endereçando inclusive a parte da consistência estatística. O maior impacto com relação ao comportamento não-Gaussiano se dá na avaliação do risco, já que a medida de variância fica prejudicada, o que representa uma importante ressalva ao resultado de aplicação do MAIOP. Contudo, Esch (2010) argumenta que o uso da teoria de Markowitz não deve ser desincentivada por e para práticos pois seus resultados oferecem benefícios e *insights* que se sobrepõe as fragilidades estatísticas. Em estudo recente, Lassance (2021) conclui que aplicações da teoria de Markowitz com bases que apresentam comportamento não-Gaussiano não são incompatíveis com o uso do modelo de média-variância. O autor argumenta que pesquisadores devem, contudo, estar atentos aos “momentos superiores” de retorno nas séries de dados e utilizar os resultados com ressalvas. Em seu trabalho é proposta uma reconciliação entre a MPT e o uso de bases com comportamento não-Gaussiano a partir de uma releitura dos avanços nessa área.

Outros modelos de portfólio inspirados em Markowitz buscam também endereçar a questão do comportamento não-Gaussiano de forma mais direta e, portanto, também merecem citação. Karandikar e Sinha (2012) fazem a abordagem desse problema usando *Value at Risk* (VaR) e mediana como medidas de risco e retorno, respectivamente. Assim como Adler e Kritzman (2005) fazem o “*full-scale optimization*”. Porém o escopo da pesquisa em ambos foi ainda no mercado financeiro e não focado em base em patentes ou com qualquer enfoque em Gestão da Inovação.

O uso da média e da variância como fatores para retorno e risco também é discutível, isso porque existem abordagens diferentes que são possíveis e podem ser testadas para o caso das patentes. Não só é factível realizar a alteração dessas variáveis como também é admissível utilizar outras formas de realizar a análise alterando o próprio MAIOP para, por exemplo, calcular o índice de Sharpe⁵ das opções disponíveis.

⁵ O índice de Sharpe é uma forma de avaliação relativa entre risco e retorno, apresentado originalmente por Sharpe (1963).

Em relação a aplicação no setor de Petróleo e Gás, fica claro que os subgrupos que se repetem em todas as análises se tornam fortes candidatos a serem considerados pelos gestores já que se apresentam de forma resiliente e bem-sucedida em qualquer portfólio. Contudo, pela interpretação de cada base é importante analisar que aquela construída pela variação das citações tem maior consistência. Enquanto as duas primeiras trazem uma interpretação de expectativa de citações, a segunda já é mais alinhada a questão de crescimento de citações. Posto que houve um filtro para escolher os subgrupos com maiores citações consolidadas (no caso de Petróleo e Gás foi maior que 200 citações), pode-se considerar que essa abordagem traz não somente subgrupos bem populosos como também apresenta um movimento de tendência tecnológica, podendo ser utilizada como uma forma de investir em subgrupos com retornos mais confiáveis (taxas de crescimento mais consistentes), ainda assim com a componente de gestão de riscos. O ponto de discussão aqui, que inclusive é uma fragilidade dentro do MAIOP é que são excluídos dessa proposta tecnologias com poucas citações que podem eventualmente ser tecnologias emergentes, e que mereceriam destaque no plano de P&D.

Vale ressaltar que o modelo não tem o objetivo de prospectar as tecnologias com maior chance de serem as que irão despontar no futuro. Para tal objetivo há outras metodologias que podem trazer resultados mais acurados, como as Rotas Tecnológicas ou ainda a análise do *Roadmap* Tecnológico, em que seria possível traçar um caminho tecnológico na linha do tempo, inclusive ponderando a importância de cada patente nessa evolução até o estado da arte.

É prudente ainda recomendar cautela quando da aplicação em setores que vislumbram uma transição tecnológica, como é o caso de Petróleo e Gás. Nesse caso a questão que se discute não é se as empresas do setor irão aumentar a parcela investimentos em tecnologias renováveis, mas quando isso acontecerá em virtude das emissões de gases poluentes (e assertiva conscientização desse impacto) ou ainda em que taxa será essa mudança. Por enquanto não há uma constatação de que o setor já tenha efetivado esse movimento de forma significativa, muito menos isso foi identificado na avaliação dos resultados obtidos, seja no macro ou nas partes da cadeia. Isso porque o tempo considerado na aplicação do MAIOP feita na tese ainda retrata o resultado de tecnologias concentradas na atividade de transformação de energia fóssil. Salienta-se dois outros pontos que podem ser determinantes para que as empresas migrem para energias renováveis, sendo o primeiro uma visão estratégica para oportunidades de negócio com a mudança da matriz energética global e o segundo o comprometimento que elas podem criar a partir de metas internas voltadas a redução ou

eliminação do impacto ambiental que geram. Isto é, o modelo não conseguiu captar mudanças nos portfólios que indicassem que a entrada de tecnologias limpas/sustentáveis/alternativas passou a fazer parte da agenda de pesquisa das empresas de petróleo

Ainda em relação ao setor estudado, é plausível considerar que mesmo com a transição da matriz energética, as Organizações continuarão investindo em tecnologia para Petróleo e Gás. Han et al. (2015) consideram que esse investimento se dará no sentido de tornar as atividades mais eficientes e econômicas, dado que isso já é buscado nas áreas de energia renovável, como, por exemplo, no barateamento e busca de eficiência de placas de energia solar e baterias (GIELEN et al. 2019). No momento em que os custos e preços entre energias não renováveis e energias renováveis trouxerem no comparativo de valores um equilíbrio (*break-even*), será presumível avaliar que a predisposição e o prêmio a ser pago pela sociedade será maior no produção e consumo de energia renovável, compensando mais os produtores e todos os *stakeholders*.

Na mesma linha de selecionar possíveis partes da cadeia para processamento, é possível também pensar na própria utilização de agrupamentos maiores de IPCs. No caso do Petróleo e Gás, por exemplo, poderíamos pensar na classe de IPC E21 que trata de perfuração e mineração para entendermos quais subgrupos desse agrupamento superior iriam compor um portfólio inspirado em Markowitz. Dessa forma não precisaríamos recorrer a coleta de patentes de empresas específicas e sim iríamos obter os resultados a partir de uma orientação dos campos tecnológicos.

Não obstante, é complexa a total separação e classificação dos campos tecnológicos a nível de empresa. Poderia haver um esforço para talvez se separar os subgrupos de IPCs ao longo da Cadeia, entretanto classificações consideradas mais genéricas iriam fatalmente se enquadrar em mais de um elo, como por exemplo o subgrupo de IPC C08F022058 que trata tecnologias que podem tanto beneficiar empresas de perfuração quanto empresas de fracionamento, perturbando novamente o total apartamento dos dados.

Quando todo o método é aplicado partindo-se das patentes de empresas, é possível que ocorram sobreposições de empresas na análise dos resultados, tal como verificado com intensidade no *midstream* e *downstream* do setor de Petróleo e Gás. Isso se dá por duas formas. A primeira é em função do grau de verticalização do setor, em que a separação em recortes menores é imprecisa ou sobreposta. Já a segunda ocorre, pois, em alguns casos as empresas que não estavam classificadas em determinado acabam registrando patentes que são verificadas

durante a consolidação dos resultados. Ou seja, inicialmente elas não estavam participando com seus dados para o encontro do portfólio, porém depois de definido verifica-se que elas têm patentes que se encaixam nos resultados. Esse fenômeno pode ocorrer por inúmeros fatores como colaborações entre empresas de elos diferentes, mas que eventualmente dividem as titularidades dos resultados, ou até mesmo uma leve integração vertical de tecnologias com algum interesse particular em determinado conjunto de tecnologias que extrapolem o *core business*.

As variações do risco também poderiam continuar a serem feitas para a geração de novos portfólios que trariam outros novos campos tecnológicos, principalmente com a redução do risco. Contudo, com o afrouxamento constante do risco o incremento do retorno tende a se estacionar no resultado e o número de opções selecionadas acaba tornando a aplicação do resultado mais complexa, como já argumentavam Evans e Archer (1968). O objetivo aqui não é entender quais são todas as possibilidades de portfólio para determinado recorte analítico ou ainda qual a equação da CFE e sim entender se com a mudança do nível de risco as variáveis se alteram de forma semelhante ao visto no mercado financeiro.

É passível de argumentação que o MAIOP possa em alguma medida ser enviesado por variações entre números pequenos, por hipótese quando ocorre o aumento de 100% em uma situação em que as citações sobem de 2 para 4 entre dois anos seguidos. A forma como esse efeito pode ser atenuado é justamente quando realizamos um filtro nos maiores totais de citações, que no caso do setor de Petróleo e Gás foi de maior ou igual a 200 citações no período e quando feito em cada elo da Cadeia de Suprimentos foi maior ou igual a 100 citações. Dessa forma é limitada a chance de que esse viés venha a afetar de forma significativa o modelo pois comparam-se as opções disponíveis que são mais populosas e que, portanto, tendem a reagir de forma menos sensível a pequenas alterações de citações.

Outro ponto de argumentação pode ser sobre a complexidade de aplicação do MAIOP que conta com passos que demandam olhar analítico para o tratamento de bases de dados e processamento de modelagem matemática. Caso esse método fosse utilizado em uma rotina periódica semanal ou mensal, de fato a complexidade poderia ser um fator a pesar para a não adoção da ferramenta proposta. Contudo, é razoável ajuizar que os momentos de investimentos nas empresas ocorrem usualmente uma vez ao ano, ou até uma vez por semestre. Nesses momentos bem definidos não seria proibitiva a adoção de análises complexas e que porventura poderiam contar com forças-tarefas de um ou mais departamentos para serem feitas.

Como último ponto de discussão, abre-se a possibilidade de também utilizar o MAIOP para a construção de políticas públicas, já que sendo uma ferramenta de identificação e otimização que seleciona tecnologias, seu emprego pode trazer indicativos para governos sobre as áreas que possivelmente teriam maior enfoque da iniciativa privada. Essa informação é útil, por exemplo, para explorar questões relativas a tributos, royalties e também para desenvolvimento regional. De maneira pragmática, seria possível por parte do governo explorar esse tema com incentivos ou até mesmo regulamentações que tratassem campos tecnológicos com uma abordagem que reforçasse o conceito de sustentabilidade das empresas de suas regiões.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Esta pesquisa buscou articular a criação de um método para adaptar base de patentes à teoria de Markowitz (1952) mostrando que é possível utilizar a variação de citações entre campos tecnológicos como resultado a ser perseguido na construção de planos de P&D. A aplicação no setor de Petróleo e Gás, que contou com informações de 81 empresas entre os anos de 2009 e 2018 trouxe uma saída satisfatória e consistente do modelo de otimização, que respeitou o comportamento esperado das variáveis de risco e retorno. Mesmo com ressalvas em relação ao comportamento normal dos dados, cabe observar que o risco foi medido e mitigado através da análise da covariância entre os pares de opções.

Os resultados também foram consistentemente melhores que as médias gerais registradas pelas opções disponíveis em cada recorte analisado, o que mostra que o MAIOP cumpriu a função de otimizar os retornos de citação na vertente de maximização com desempenho destacado.

A construção do MAIOP apresentou vários pontos de customização em virtude da adequação das informações de entrada do modelo de média-variância. A principal foi a classificação das patentes em agrupamentos de campos tecnológicos, para que fossem endereçadas as questões de surgimento de novas tecnologias ao longo do tempo. O conjunto de modificações propicia uma nova ferramenta para que gestores possam analisar o plano de P&D sob uma ótica quantitativa, com o elemento de risco em foco e também com a dinamicidade de gerar cenários diversos a partir de construções de base diferentes e também da graduação da variância.

Os resultados dessa tese apresentam uma série de limitações no que tange os aspectos de construção de *framework* e aplicação do método. Os principais estão listados a seguir:

- (i) Construção do *framework*:

- a. Exploração de forma não exaustiva da questão da não normalidade total dos dados e seu impacto na mitigação dos riscos. Como discutido na seção 4.3, o tema é sensível não só para essa adaptação, mas para todos os ambientes em que esse modelo (média-variância) é utilizado e sofre o mesmo questionamento. Há na literatura diferentes abordagens possíveis para endereçamento que poderiam ser exploradas.
 - b. Não foi exaurido o uso de vários testes de normalidade e nem mesmo como eles podem afetar o avanço na estatística para construção de modelos mais complexos que compreendam as características e comportamentos dos dados.
 - c. Uso exclusivo do modelo de média-variância dentro do MAIOP. Por mais que já existam outros modelos que busquem propostas diferentes para abordagem de retorno e risco, manteve-se aqui a abordagem mais tradicional de Markowitz (1952).
- (ii) Aplicação do método:
- a. Período da aplicação de 10 anos. A seleção do período afeta diretamente o resultado e foi restrita em função da complexidade de coleta e processamento dos dados e informações.
 - b. A análise não contemplou o aprofundamento de qualquer empresa do setor. Em função das informações de P&D serem estratégicas, conforme comentado na seção 4.3, obter e analisar todas as informações de investimento e construção do Portfólio de P&D é uma tarefa que não compete a pesquisadores sem acesso a esse tipo de informação confidencial e de publicação sensível ou não autorizada.
 - c. Não investiga as possíveis origens das covariâncias negativas de maneira qualitativa. Assim como na utilização em ativos financeiros (em especial no campo das ações de empresas), há teses de investimento que tentam fundamentar essas relações, porém para a presente aplicação na tese somente foi demonstrado quantitativamente esse efeito. É possível ponderar inclusive para o ambiente dos ativos financeiros a robustez dessas relações já que há discussão sobre a aleatoriedade do comportamento *versus* o comportamento dos agentes econômicos.

Como sugestões para estudos futuros destaca-se que algumas linhas de pesquisa poderiam se aproveitar dos *insights* presentes nessa tese para continuar o aprofundamento da teoria de Markowitz com Gestão de Inovação e base de patentes.

Para o contínuo desenvolvimento do método proposto na tese é possível pontuar as seguintes possibilidades:

- i) Ponderar a participação das empresas em cada elo para mitigar o viés das classificações. Uma criação de coeficiente que gradue a intensidade de participação das empresas em cada recorte de mercado.
- ii) Classificação dos subgrupos de IPCs de forma customizada para o processamento do MAIOP como comentando nas seções 4.2.1.3 e 4.3.
- iii) Emprego do *backward citation* com o uso do ano em que foi feita a citação (campo “*Cited Refs - Patent*” do Derwent). Parece ser uma opção válida de estudo para o aperfeiçoamento do MAIOP à medida em que é possível rastrear o ano exato em que foi registrada a referência. A maior dificuldade para essa utilização é o fato de que as citações feitas nesse campo estão direcionadas a outras patentes, que devem então ser buscadas na plataforma de dados. Esse passo adicional significa uma nova consulta de patentes e em tese uma duplicação do esforço de coleta de patentes para que seja descoberta a informação do IPC da patente citada. Em muitos casos as patentes referenciadas podem estar na casa de dezenas de citações.

Já como sugestões mais abrangentes, mas ainda considerando possíveis relações entre os temas, elenca-se as seguintes oportunidades:

- a) Testar outros modelos inspirados em Markowitz com a associação de patentes, como por exemplo: VaR ou otimização robusta.
- b) Realizar trabalhos que avaliem o desempenho do modelo com a técnica de *backtesting*. A partir dessa análise é possível calibrar o modelo e aferir se as recomendações de investimento nos setores continuam com desempenho superior à média geral e se estão próximas aos valores esperados.

- c) Utilizar períodos de tempo maiores para avaliação dos tipos de citação (*backward* ou *forward*) para entender quais comportamentos estatísticos podem ser verificados. Especialmente para a visão *forward citation*, em que números de citação são dinâmicos, é possível que em longos períodos sejam observadas populações maiores de citações, menos suscetíveis a variações.

REFERÊNCIAS

- ABAS, N. KALAIR, A. KHAN, N. (2015). Review of fossil fuels and future energy technologies. *Futures*, 69, 31–49. doi:10.1016/j.futures.2015.03.003
- ABBAS, A; ZHANG, L; KHAN, S.U. A literature review on the state-of-the-art in patent analysis. *World Patent Information*, Volume 37, Pages 3-13, 2014.
- ADLER, T; KRITZMAN, M. Mean–variance versus full-scale optimisation: In and out of sample. *Journal of Asset Management*, v. 7, n. 5, p. 302-311, 2007.
- AERTS, J.C.J.H., BOTZEN, W.J.W. & WERNERS, S.E. Mitig Adapt Strateg Glob Change (2015) 20: 1247. <https://doi.org/10.1007/s11027-014-9540-0>
- ALIZADEH, R; LUND, P.D; BEYNAGHI, A; ABOLGHASEMI, M; MAKNOON, R. An integrated scenario-based robust planning approach for foresight and strategic management with application to energy industry. *Technological Forecasting & Social Change* 104 (2016) 162–171.
- ALMEIDA, P. Knowledge sourcing by foreign multinationals: Patent citation analysis in the U.S. semiconductor industry. *Strategic Management Journal*, 17(S2), 155–165. doi:10.1002/smj.4250171113. 1996.
- BANGSUND, D. A. HODUS, N. M. Petroleum Industry’s Economic Contribution to North Dakota in 2015. *Agribusiness and Applied Economics Report No. 766*. 2017.
- BAYSINGER, B. D.; KOSNIK, R. D.; TURK, T. A. Effects of Board and Ownership Structure on Corporate R&D Strategy. *Academy of Management Journal*, 34(1), 205–214. doi:10.5465/256308. 1991.

BEAUJON, G. J. MARIN, S. P. McDONALD, G. C. Balancing and optimizing a portfolio of R&D projects. [https://doi.org/10.1002/1520-6750\(200102\)48:1<18::AID-NAV2>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/1520-6750(200102)48:1<18::AID-NAV2>3.0.CO;2-7). 2001.

BEKKUM, S. V; PENNING, E. SMIT, H. A real options perspective on R&D portfolio diversification. *Research Policy* Volume 38, Issue 7, September 2009, Pages 1150-1158.

BESSEN, J. E. (2002). Patent Thickets: Strategic Patenting of Complex Technologies. *SSRN Electronic Journal*. doi:10.2139/ssrn.327760

BHATTACHARYYA, R; KUMAR, P; KAR, S. Fuzzy R&D portfolio selection of interdependent projects. *Computers & Mathematics with Applications*. Volume 62, Issue 10, November 2011, Pages 3857-3870.

BORGATTI, S.; HALGIN, D. On network theory. *Organization Science*, v. 22. n. 5. pg 1168 – 1181, 2011.

BRITO, N. R. O. O Efeito de Diversificação de Risco no Mercado Acionário Brasileiro. *Revista de Administração da Universidade de São Paulo*, v. 16, n. 2, 1981.

BRUCKNER R.M., SCHIEFER J. (2000) Using Portfolio Theory for Automatically Processing Information about Data Quality in Data Warehouse Environments. In: Yakhno T. (eds) *Advances in Information Systems. ADVIS 2000. Lecture Notes in Computer Science*, vol 1909. Springer, Berlin, Heidelberg

BRUNI, A. K; FUENTES, J; FAMÁ, R. A moderna teoria de portfólios e a contribuição dos mercados latinos na otimização da relação risco versus retorno de carteiras internacionais: evidências empíricas recentes (1996-1997). III Semead. FEA/USP. São Paulo (1998).

BULMAN, P. Tesla's Powerwall battery production requires 'super-charged' supply chain. *Renewable Energy Focus* Volume 16, Issues 5–6, 2015, Pages 126-127.

BYRNE, L; LEE, S. Real Estate Portfolio Analysis under Conditions of Non-Normality: The Case of NCREIF. *Journal of Real Estate Portfolio Management*. Volume 3, 1997 - Issue 1.

CARTER, M. W. PRICE, C. C. *Operations Research: A Practical Introduction (Operations Research Series)*. CRC Press; 1st edition, 2000.

CARLSSON, C; FULLÉR, R; HEIKKILA, M; MAJLENDER, P. A fuzzy approach to R&D project portfolio selection. *International Journal of Approximate Reasoning*. Volume 44, Issue 2, February 2007, Pages 93-105.

CHANG, S. B.; LAI, K. K.; CHANG, S.M. Exploring technology diffusion and classification of business methods: Using the patent citation network. *Technological Forecasting and Social Change*, 76(1), 107–117.doi:10.1016/j.techfore.2008.03.014. 2009.

CHANG PL, WU CC, LEU HJ. Investigation of technological trends in flexible display fabrication through patent analysis. *Displays*; 33(2):68e73, 2012.

CHOE, H.; LEE D. H.; SEO, I. W.; KIM, H. D. Patent citation network analysis for the domain of organic photovoltaic cells: Country, institution, and technology field. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 492–505.doi:10.1016/j.rser.2013.05.037 . 2013.

CHOI, C; KIN, S; PARK, Y. A patent-based cross impact analysis for quantitative estimation of technological impact: the case of information and communication technology. *Technological Forecasting and Social Change*. 74. 1296-1314. 2007.

CHOH, T; SHIH, H. Patent citation network analysis of core and emerging technologies in Taiwan: 1997–2008 – *Scientometrics*, vol. 89, pp. 795–811, 2011.

CHRISMAN, J. J.; PATEL, P. C. Variations in R&D Investments of Family and Nonfamily Firms: Behavioral Agency and Myopic Loss Aversion Perspectives. *Academy of Management Journal*, 55(4), 976–997. doi:10.5465/amj.2011.0211. 2012.

COELHO, G.; COELHO, D. Projeto CEPETRO tendências tecnológicas: prospecção tecnológica: metodologias e experiências nacionais e internacionais, Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Tecnologia, 2013. (Nota técnica, 14).

CORIOLOANO, A. C. F., DE ANDRADE BARBOSA, A. M., DE LIMA, A. F., GUIMARÃES DE MELO, P. M. SOUZA DE ARAUJO, A. Aplicações ambientais de Zeólitas na Indústria do petróleo. *RUnPetro* Ano 3, n. 2, p. 9-18, abr./set.2015 ISSN 2316-668. 2015.

CROWE, K. A., PARKER, W. H. Using portfolio theory to guide reforestation and restoration under climate change scenarios. *Climatic Change* (2008) 89: 355. <https://doi.org/10.1007/s10584-007-9373-x>

DANTIZG, G. Reminiscences about the origins of linear programming. *Operations Research Letters*. Volume 1, Issue 2, 1982, Pages 43-48.

DINÇER H, YÜKSEL S. Multidimensional evaluation of global investments on the renewable energy with the integrated fuzzy decision-making model under the hesitancy. *Int J Energy Res* 2019; 43(5):1775–84.

EINAV, L. FARRONATO, C. LEVIN, J. Peer-to-Peer Markets. *Annual Review of Economics*. <https://doi.org/10.1146/annurev-economics-080315-015334>. 2016.

EFRON, B. Transformation theory: how normal is a family of distributions? *The Annals of Statistics*, Philadelphia, Vol. 10, pp. 323-339, 1982.

ELTON, E. J. et al. Tradução de A. Z. Sanvicente. *Moderna Teoria de Carteiras e Análise de Investimentos*. São Paulo: Atlas, 2004.

ELTON, E. J; GRUBER, M. J. *Modern Portfolio Theory and Investment Analysis*. John Wiley & Sons; 5ª edição (15 março 1995).

ENERDATA. *Global Energy Statistical Yearbook 2018*. Disponível em: <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-import-export-statistics.html> Acesso em: 01/04/2019.

ESCH, D. N. Non-normality facts and fallacies. *Journal of Investment Management*, v. 8, 2010.

EVANS, J. L.; ARCHER, S. H. Diversification And The Reduction Of Dispersion: An Empirical Analysis. *The Journal of Finance*, v. 23, n. 5, p. 761-767, 1968. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2325905>.

EVANS, R. HINDS, S. HAMMOCK, D. (2009). Portfolio analysis and R&D decision making. *Nature Reviews Drug Discovery*, 8(3), 189–190. doi:10.1038/nrd2744

FIRAT, A.K; WOON, W.L; MADNICK, S. Technological forecasting – A review. *CISL 2008-2015*. 2008.

FONTANA, R.; NUVOLARI, A.; VERSPAGEN, B. Mapping technological trajectories as patent citation networks. An application to data communication standards. *Economics of Innovation and New Technology*, 18(4), 311–336. doi:10.1080/10438590801969073. 2009.

FORBES. Global 2020. Disponível em: <https://www.forbes.com/lists/global2000/#1bd20ff45ac0> Acesso em 09/04/2019. 2019.

FRIAR, J. H. BALACHANDRA, R. Spotting the Customer for Emerging Technologies, *Research-Technology Management*, 42:4, 37-43, DOI: 10.1080/08956308.1999.11671293. 1999.

GHOSH, S.; NANDA, R. Venture Capital Investment in the Clean Energy Sector Harvard Business School Entrepreneurial Management Working Paper No. 11-020. SSRN: <https://ssrn.com/abstract=1669445> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1669445>. 2010

GIELEN, D., BOSHELL, R., SAYGIN, D., BAZILIAN, M. G., WAGNER, N., GORINI, R. The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*. 24 (2019) 38-50. 2019.

GRILICHES, Z. Patent Statistics as Economic Indicators: A Survey. *Journal of Economic Literature*, 1661–170. 1990.

GRIMALDI, M., CRICELLI, L., ROGO, F. (2018). Valuating and analyzing the patent portfolio: the patent portfolio value index. *European Journal of Innovation Management*, 21(2), 174–205. doi:10.1108/ejim-02-2017-0009

HAN, J., FORMAN, G. S., ELGOWAINY, A., CAI, H., WANG, M., DiVITA, V. B. A comparative assessment of resource efficiency in petroleum refining. *Fuel* Volume 157, 1 October 2015, Pages 292-298. 2015.

HARHOFF, D. HOISL, K. (2007), “Institutionalized incentives for ingenuity – patent value and the German Employees’ Inventions Act”, *Research Policy*, Vol. 36 No. 8, pp. 1143-1162.

HEEDE R. Tracing anthropogenic carbon dioxide and methane emissions to fossil fuel and cement producers, 1854–2010. *Climatic Change* 2014;122(1–2):229–41.

HIDALGO, C. A., KLINGER, B., BARABASI, A.-L HAUSMANN, The Product Space Conditions the Development of Nations. *Science*, 317 (5837):482–487. 2007.

HO, J. C; CHEH, H. Managing the Disruptive and Sustaining the Disrupted: The Case of Kodak and Fujifilm in the Face of Digital Disruption. *Review of Policy Research*. Volume35, Issue3 P. 352-371. 2018.

HUMMON, N.P; DOREAIN, P. Connectivity in a Citation Network: the Development of DNA Theory. *Social Networks*, 11 (1989) 39063.

INTEPE, G; BOZDAG, E. KOC, T. The selection of technology forecasting method using a multi-criteria interval-valued intuitionistic fuzzy group decision making approach. *Computers & Industrial Engineering* 65 277–285. 2013.

INZELT, A. The evolution of university–industry–government relationships during transition. *Research Policy*, v. 33, n. 6, p. 975-995, 2004.

IRENA. *Global Renewables Outlook 2020: Energy transformation 2050*. Edition 2020. 212 p.

KALITA, I. The Oil And Gas Industry Of Assam-The Upstream, Downstream And Midstream Industry. *Palarch's Journal Of Archaeology Of Egypt/Egyptology* 17(6). ISSN 1567-214x. 2020.

KARANDIKAR, R L.; SINHA, T. Modelling in the spirit of Markowitz portfolio theory in a non-Gaussian world. *Current Science*, p. 666-672, 2012.

KIM, J; CHOE, D; KIM, G; PARK, S; JANG, D. Noise removal using TF-IDF criterion for extracting patent keyword. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. (2014).

KOSKO, B. ISAKA, S. Fuzzy Logic. *Scientific American* Vol. 269, No. 1 (1993), pp. 76-81.

LAI, K. K.; WU, S. J. Using the patent co-citation approach to establish a new patent classification system. *Information Processing & Management*, 41(2), 313–330. doi:10.1016/j.ipm.2003.11.004. 2005.

LASSANCE, N. Reconciling mean-variance portfolio theory with non-Gaussian returns. *European Journal of Operational Research*. Available online 15 June 2021 In Press, Corrected Proof What are Corrected Proof. 2021.

LEE, M.Y.; AZMAN, A.S.; SUBRAMANIAM, S.K.; FERROZ, F.S. Wireless Sensor Networks in Midstream and Downstream in Oil and Gas Industry. *Intelligent Manufacturing and Mechatronics. SymposIMM 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-9539-0_45.

LICHTENTHALER, E. Technology intelligence processes in leading European and North American multinationals. *R&D Management*, v. 34, p. 121-135, 2004.

LINARES, I. M. P. Prospecção tecnológica na área de biotecnologia: uma abordagem baseada em rotas tecnológicas. 2014. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo. Ribeirão Preto. 2014.

LINARES, I. M. P; PORTO, G. S. Applying social network analysis as an asset to practical decision making on intellectual property. In: IAMOT 2016. Orlando. *Technology Future Thinking*, 2016, v.25.

LINTNER, John. Security prices, risk and maximal gains from diversification. *Journal of Finance*, 20(4): 587-615. 1965.

LINTON, J. D. MORABITO, J. YEOMANS, J. S. An extension to a DEA support system used for assessing R&D projects. *R&D Management*. 2007. Pages 29-36.

LOEB, G.M. (1935). “The battle for investment survival”. Simon and Schuster, New York.

MADVAR, M. D. KHOSROPOUR, H. KHOSRAVANI, A. MIRAFSHAR, M. AZARIBENI, A. REZAPOUR, M. NOURI, B. Patent-Based Technology Life Cycle Analysis: The Case of the Petroleum Industry. *Foresight and STI governance*. DOI: 10.17323/1995-459X.2016.4.72.79. Vol. 10. No 4. 2016.

MARKOWITZ, H.M. Portfolio selection. *Journal of Finance*, v.07, p.77-91, mar. 1952.

MCCLOSKEY, B. D. Expanding the Ragone Plot: Pushing the Limits of Energy Storage. *The Journal of Physical Chemistry Letters* 2015 6 (18), 3592-3593. DOI: 10.1021/acs.jpcllett.5b01813. 2015.

MICHEL, J.; BETTELS, B. Patent citation analysis: A closer look at the basic input data from patent search reports - *Scientometrics*, Vol. 51, No. 1, pp. 185–201, 2001.

MIKKOLA, J. H. Portfolio management of R&D projects: implications for innovation management. *Technovation*. Volume 21, Issue 7, July 2001, Pages 423-435.

MISHRA, S; DESHMUKH, S.; VRAT, P. Matching of technological forecasting technique to a technology – *Technological Forecasting & Social Change* - Vol. 69 pp. 1–27, 2002.

MOSSIN, JAN, "Equilibrium in a Capital Asset Market," *Econometrica* (October 1966): 768-783.

NARIN F. Patent bibliometrics. *Scientometrics*, v.30:147e55, 1994

NORLING, P. et al. Putting competitive technology intelligence to work. *Research Technology Management*, v. 43, p. 23-28, 2000.

OWEN, N. INDERWILDI, O. R. KING, D. A. The status of conventional world oil reserves — Hype or cause for concern? *Energy Policy*; Volume 38, Issue 8, 2010, Pages 4743-4749.

OZKALE, C. CELIK, C. TURKMEN, A. C. CAKMAZ, E. S. Decision analysis application intended for selection of a power plant running on renewable energy sources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 70, 2017, Pages 1011-1021.

PICKL, Matthias J. 2019. The renewable energy strategies of oil majors – From oil to energy? *Energy Strategy Reviews*. Dhahran, p. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100370>. A

PINO F. A. A questão da não normalidade: uma revisão. *Rev. de Economia Agrícola*, São Paulo, v. 61, n. 2, p. 17-33, jul.-dez. 2014.

PISANO, P. PIRONTI, M. RIEPLE, A. Identify Innovative Business Models: Can Innovative Business Models Enable Players to React to Ongoing or Unpredictable Trends? *Entrepreneurship Research Journal*. <https://doi.org/10.1515/erj-2014-0032>. 2015.

PHILLIPS, F., LINSTONE, H. Key ideas from a 25-year collaboration at technological forecasting & social change. Volume 105, April 2016, Pages 158-166.

PORTO, G; KANNEBLEY JR, S; BARONI, J. (2013). Análise das Rotas Tecnológicas a partir de grupos tecnológicos para Patentes Verdes. Disponível em: < https://www.researchgate.net/profile/Porto_Geciane/publication/289493925_Analise_Das_Rotas_Tecnologicas_a_partir_de_grupos_tecnologicos_para_Patentes_Verdes/links/568d1bd908aefb48d4bffa3.pdf > Acesso em: 30/03/17.

PORTO, G; KANNEBLEY JR, S; BARONI, J. (2012) Subprojeto 3—Rotas tecnológicas e sistemas de inovação produto 03—Estrutura SASTec. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto. Disponível em: < <https://docplayer.com.br/10730741-Rotas-tecnologicas-e-sistemas-de-inovacao.html> > Acesso em: 17/05/19.

QI, W.; HUANG, Z.; DINÇER, H.; KORSAKIENĖ, R.; YÜKSEL, S. (2020) Corporate Governance-Based Strategic Approach to Sustainability in Energy Industry of Emerging Economies with a Novel Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Hybrid Decision Making Model. *Sustainability*, 12, 3307. <https://doi.org/10.3390/su12083307>

REILLY, F. K. BROWN, K. C. *Investment Analysis & Portfolio Management* 10th edition. South-Western, Cengage Learning. 2012.

RINNE, M. Technology roadmaps: infrastructure for innovation. *Technological Forecasting and Social Change*. V.71 p. 67-80. 2004.

SHAPIRO, S. S., WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52, 3 e 4, p. 591. 1965.

SHARPE, W.F. (1963). “A Simplified Model for Portfolio Analysis”. *Management Science*, Vol. 9, pp. 277-293.

STUCKI, T; WOERTER, M. Competitive Pressure and Diversification into Green R&D. *Review of Industrial Organization*. Publicado online: 27 de Agosto de 2018. doi:10.1007/s11151-018-9656-6. 2018.

SWARAY, R. SALISU, A. A. A firm-level analysis of the upstream-downstream dichotomy in the oil-stock nexus. *Global Finance Journal* 37. 199-218. 2018.

TOLONEN, A. SHAHMARICHATGHIEH, M. HARKONEN, J. HAAPASALO, H. Product portfolio management – Targets and key performance indicators for product portfolio renewal over life cycle. *International Journal of Production Economics*. Volume 170, Part B, December 2015, Pages 468-477.

TRAJTENBERG M., A penny for your quotes: patent citations and the value of innovations, *RAND J. Econ.* 21 (1), 172–187, 1990.

TREYNOR, J. L. Toward a theory of market value of risky assets. 1962 manuscript. Revised 28/12/2002, with minor edits by Craig William French.

TSENG, Y. LIN, C. LIN, Y. Text mining techniques for patent analysis. *Information Processing & Management*. Volume 43, Issue 5, September 2007, Pages 1216-1247.

VALENTE, A.; IRIBARREN, D.; DUFOUR, J. (2021) Harmonised carbon and energy footprints of fossil hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*. Volume 46, Issue 33, 17587-17594.

VAN BEEKUM, S. PENNING, E; SMIT, H. A real options perspective on R&D portfolio diversification. *Research Policy* Volume 38, Issue 7, September 2009, Pages 1150-1158.

VERSPAGEN, B. Mapping technological trajectories as patent citation networks: a study on the history of fuel cell research - *Advances in Complex Systems*, Vol. 10, No. 1, pp.93–115, 2005.

WARTBURG I.V., TEICHERT T., ROST K., Inventive progress measured by multistage patent citation analysis, *Res. Policy* 34 (10), 1591–1607, 2005.

WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION (WIPO) 2019. Disponível em: <https://www.wipo.int/classifications/ipc/ipcpub/?notion=scheme&version=20190101&symbol=none&menulang=en&lang=en&viewmode=f&fipcp=no&showdeleted=yes&indexes=no&headings=yes¬es=yes&direction=02n&initial=A&cwid=none&tree=no&searchmode=smart> Acesso em: 01/03/2019.

WORLD ENERGY OUTLOOK (WEO) 2018. Relatório anual da IEA (International Energy Agency), 2018. Disponível em: <https://www.iea.org/weo2018/> Acesso em: 11/03/2019.

YIN, J. Z. Managing process innovation through incremental improvements: empirical evidence in the petroleum refining industry. *Technological forecasting and social change*. 47, 265-276. 1994.

YOON, B; PARK, Y. A text-mining-based patent network: Analytical tool for high-technology trend. *Journal of High Technology Management Research*. (2004).

YOON, J. et al. Technology Opportunity Discovery (TOD) from existing technologies and products: A function-based TOD framework. *Technological Forecasting and Social Change*. V. 100, P. 153-167.

YU, X. ZHANG. Obtaining advantages from technology revolution: A patent roadmap for competition analysis and strategy planning. *Technological Forecasting and Social Change*. Available online 6 November 2017.

ZHANG, H. L. WANG, S. Customer value anticipation, product innovativeness, and customer lifetime value: The moderating role of advertising strategy. *Journal of Business Research*. Volume 69, Issue 9, September 2016, Pages 3725-3730.

ZHONG, M. BAZILIAN, M. D. Contours of the energy transition: Investment by international oil and gas companies in renewable energy. *The Electricity Journal*. Volume 31, Issue 1, January–February 2018, Pages 82-91.

ANEXOS

Anexo 1 - Lista das empresas de Petróleo e Gás pesquisadas no *Derwent Innovation*.

Empresa	País de origem	<i>Upstream</i>	<i>Midstream</i>	<i>Downstream</i>	Faturamento (USD em 2018)	Valor de mercado (USD)
Anadarko Petroleum	United States	x			\$8.5 B	\$34.9 B
Apache	United States	x			\$5.3 B	\$20 B
Baker Hughes	United States	x			\$9.8 B	\$26.1 B
Bharat Petroleum	India			x	\$28.8 B	\$15.2 B
BP	United Kingdom	x	x	x	\$183.8 B	\$114.7 B
Caltex Australia	Australia			x	\$13.1 B	\$6 B
Canadian Natural Resources	Canada	x			\$7.9 B	\$37.1 B
Cenovus Energy	Canada	x			\$9.2 B	\$11.2 B
Cheniere Energy	United States			x	\$1.3 B	\$11.3 B
Chesapeake Energy	United States	x			\$8.4 B	\$5.6 B
Chevron	United States	x	x	x	\$110.5 B	\$206.1 B
China Petroleum & Chemical	China	x	x	x	\$255.7 B	\$105.1 B
China Resources Gas Group	Hong Kong		x		\$4.2 B	\$8 B
CNOOC	Hong Kong	x	x		\$22 B	\$54.8 B
Concho Resources	United States	x			\$1.6 B	\$19.1 B
ConocoPhillips	United States	x	x	x	\$23.8 B	\$61.3 B
Continental Resources	United States	x			\$2.1 B	\$17.3 B
Cosmo Energy Holdings	Japan	x	x	x	\$19.7 B	\$1.4 B
Devon Energy	United States	x			\$10.5 B	\$22.3 B
Dong Energy	Denmark	x			\$8.5 B	\$16.4 B
Ecopetrol	Colombia	x	x	x	\$15.6 B	\$19.7 B

Enbridge	Canada		x			\$26.1 B	\$69.3 B
Encana	Canada	x				\$3.2 B	\$11.3 B
Eni	Italy	x	x	x		\$61.6 B	\$58.2 B
Ensco	United Kingdom	x				\$2.8 B	\$2.8 B
EOG Resources	United States	x				\$7.5 B	\$56.2 B
EQT	United States	x	x			\$1.8 B	\$10.9 B
ExxonMobil	United States	x	x	x		\$197.5 B	\$343.2 B
Formosa Petrochemical	Taiwan			x		\$16.9 B	\$33.6 B
Galp Energia	Portugal	x	x	x		\$14.5 B	\$12.8 B
Gazprom	Russia	x	x	x		\$91.4 B	\$51.8 B
GS Holdings	South Korea		x			\$11.6 B	\$4.8 B
Halliburton	United States	x				\$15.9 B	\$43.1 B
Hellenic Petroleum	Greece	x	x	x		\$7.4 B	\$1.7 B
Hess	United States	x	x	x		\$4.8 B	\$15.2 B
Hindustan Petroleum	India	x	x	x		\$28.5 B	\$8.5 B
HollyFrontier	United States			x		\$10.6 B	\$4.7 B
Husky Energy	Canada	x		x		\$9.8 B	\$11.4 B
Idemitsu Kosan	Japan	x	x	x		\$27.9 B	\$5.6 B
Indian Oil	India	x	x	x		\$54.1 B	\$30 B
Inpex	Japan	x	x	x		\$7.6 B	\$14.9 B
JXTG Holdings	Japan	x		x		\$72 B	\$16.6 B
Kinder Morgan	United States		x			\$12.9 B	\$48.1 B
Lukoil	Russia	x	x	x		\$74.6 B	\$44.6 B
Marathon Oil	United States	x				\$4.1 B	\$13.8 B
Marathon Petroleum	United States		x	x		\$56 B	\$26.4 B
MOL Hungarian Oil	Hungary	x	x	x		\$12.5 B	\$7.3 B
National Oilwell Varco	United States	x				\$7.2 B	\$14.7 B
Neste Oil	Finland	x		x		\$12.9 B	\$10 B
Noble Energy	United States	x		x		\$3.4 B	\$15.1 B

Novatek	Russia	x			\$8 B	\$39 B
Occidental Petroleum	United States	x			\$10.1 B	\$48.2 B
Oil & Natural Gas	India	x	x	x	\$19.9 B	\$37.2 B
OMV Group	Austria	x	x	x	\$21.3 B	\$13.6 B
Oneok	United States	x	x		\$8.9 B	\$11.9 B
Pacific Exploration & Production	Canada	x			\$1.4 B	\$1.6 B
Paramount Res	Canada	x	x		\$186 M	\$1.4 B
PBF Energy	United States			x	\$15.9 B	\$2.3 B
Pembina Pipeline	Canada		x		\$3.2 B	\$13 B
Penn Virginia	United States	x			\$132 M	\$732 M
Petrobras	Brazil	x	x	x	\$81.1 B	\$61.3 B
PetroChina	China	x	x	x	\$214.8 B	\$204.5 B
Pgnig Group	Poland	x			\$8.4 B	\$8.6 B
Phillips 66	United States	x	x	x	\$71.2 B	\$39.9 B
Pioneer Natural Resources	United States	x			\$4 B	\$32.2 B
PKN Orlen	Poland	x	x	x	\$20.2 B	\$11.2 B
PTT PCL	Thailand	x	x	x	\$48.7 B	\$32.4 B
Reliance Industries	India			x	\$41.8 B	\$71.2 B
Repsol	Spain	x	x	x	\$38.4 B	\$23.8 B
Rosneft	Russia	x			\$74.9 B	\$62.4 B
Royal Dutch Shell	Netherlands	x	x	x	\$234.8 B	\$228.8 B
S-Oil	South Korea	x		x	\$14.1 B	\$9.9 B
Saipem	Italy	x			\$11 B	\$4.5 B
Schlumberger	United States	x			\$27.8 B	\$109.2 B
Showa Shell Sekiyu	Japan	x	x	x	\$15.9 B	\$3.8 B
Sinopec Oilfield Service	China	x			\$6.4 B	\$7 B
SK Holdings	South Korea	x			\$72.1 B	\$14.7 B
SK Innovation	South Korea			x	\$34.1 B	\$13.5 B

Statoil	Norway	x	x	x	\$45.7 B	\$56.2 B
Suncor Energy	Canada			x	\$20.2 B	\$51.7 B
Surgutneftgas	Russia	x			\$13.9 B	\$18.5 B
Targa Resources	United States		x		\$6.7 B	\$11.6 B
Tatneft	Russia	x	x	x	\$8.7 B	\$14.6 B
Technipfmc	United Kingdom	x			undefined	\$15.6 B
Tenaris	Luxembourg		x		\$4.5 B	\$20.3 B
Tesoro	United States	x			\$24.6 B	\$9.4 B
Thai Oil	Thailand			x	\$7.8 B	\$4.4 B
Top Frontier Investment Holdings	Philippines			x	\$14.2 B	\$1.9 B
Total	France	x	x	x	\$128.1 B	\$128.1 B
TransCanada	Canada		x		\$9.6 B	\$40.6 B
Transneft	Russia		x		\$12.7 B	\$4.7 B
Transocean	Switzerland	x			\$4.2 B	\$4.9 B
Ultrapar Participacoes	Brazil		x	x	\$22.2 B	\$12.5 B
Valero Energy	United States			x	\$75.7 B	\$29.4 B
Williams	United States		x		\$7.5 B	\$25.1 B
Woodside Petroleum	Australia	x			\$4.1 B	\$20.9 B
YPF	Argentina	x	x	x	\$14.2 B	\$9.9 B

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Forbes (2019).