



Teoria de carteiras na seleção de projetos de investimento em petróleo

Portfolio theory in the selection of oil investment projects

Jalimar Guimarães Simplicio¹

Celso Funcia Lemme²

Ricardo Pereira Câmara Leal²

Resumo: O objetivo deste artigo é comparar a seleção de projetos de investimento segundo a fronteira eficiente no espaço média-variância com base em modelos de otimização introduzidos por Markowitz (1952) com o método do ordenamento de projetos segundo o índice de lucratividade (IL). A seleção de ativos reais pelas empresas não incorporou o procedimento de otimização de média-variância da mesma forma que na seleção de ativos financeiros para carteiras de investimento. O processo de seleção e formação de carteiras de projetos de investimento pela área de petróleo de uma empresa do setor de energia foi analisado. Carteiras de projetos constituídas de acordo com a prática usual da empresa de ordenamento pelo IL foram comparadas com as que resultariam da aplicação da otimização de média-variância por meio da simulação de Monte Carlo, que possibilita o cálculo de retornos médios, variâncias e covariâncias do conjunto de projetos considerado. A ineficiência das carteiras de projetos obtidas pela ordenação segundo o IL em relação às obtidas pelo método de Markowitz sugere que há oportunidades para aperfeiçoar o processo de seleção do conjunto de projetos que serão executados pelas empresas.

Palavras-chave: Ativos reais. Carteira de projetos. Finanças corporativas. Avaliação econômica de projetos.

Abstract: *The objective of this article is to compare investment project selection using the efficient frontier in the mean-variance space based on optimization models introduced by Markowitz (1952) with the project ranking method according to the profitability index (PI). The selection of real assets by companies did not incorporate the mean-variance optimization procedure in the same way the selection of financial assets in investment portfolios did. The process of selection and formation of portfolios of investment projects for the oil area of a company in the energy industry was analyzed. Project portfolios formed according to the usual company practice of ranking by their PI were compared with those that result from applying mean-variance optimization through Monte Carlo simulation, which allows the computation of mean returns, variances, and covariances for the set of projects considered. The inefficiency of project portfolios obtained by ranking according to the PI compared to those obtained by the method of Markowitz suggests that there are opportunities to improve the process of selecting the set of projects to be implemented by companies.*

Keywords: *Real assets. Portfolio of projects. Corporate finance. Project economic evaluation.*

1 Introdução

Roll (1994) registrou que ferramentas como a avaliação de opções, os métodos de *hedge*, a teoria de eficiência de mercados e a teoria de carteiras deveriam constar do arsenal de trabalho de todo executivo da área de finanças, mas ressaltou que a mais importante questão ainda não resolvida em finanças era a relação entre o risco e o retorno. Laughton, Guerrero e Lessard (2008) acrescentaram que uma das maiores responsabilidades dos gestores das empresas é avaliar e selecionar projetos de investimento.

Este trabalho visa contribuir para um tratamento melhor do risco na seleção de um conjunto de projetos

a serem executados por uma empresa e inspirou-se em Hightower e David (1991), que empregaram a teoria de carteiras de Markowitz para formar carteiras eficientes na seleção dos projetos de investimento de uma empresa petrolífera. Da mesma forma, examinou-se o emprego da teoria de carteiras de Markowitz na seleção de projetos de investimento da área de petróleo de uma empresa do setor de energia atuante no Brasil, enfatizando a relação risco-retorno. O rito usado pela empresa é a seleção de projetos com base na ordenação pelo índice de lucratividade, definido como a razão entre o valor

¹ Petróleo Brasileiro S.A., Av. Chile, 65, CEP 20031-912, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, e-mail: jalimar@petrobras.com.br

² Instituto COPPEAD de Administração, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, R. Pascoal Lemme, 355, CEP 21941-918, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, e-mail: celso@coppead.ufrj.br; ricardoleal@coppead.ufrj.br

presente dos fluxos de caixa gerados pelo projeto e o valor presente dos investimentos realizados para obter esses fluxos de caixa. A comparação da seleção de projetos segundo os dois processos verificou que há oportunidades para ganhos de eficiência com a adoção do método de Markowitz para a formação de carteiras de projetos.

A seção 2 descreve brevemente as principais contribuições de estudos anteriores e a seção 3 registra a metodologia empregada no estudo. Os resultados e as conclusões são apresentados na seção 4.

2 Antecedentes na literatura

Graham e Harvey (2002) examinam os métodos usados pelas empresas para selecionar projetos de investimento e observam que alguns resultados sugerem a aceitação crescente de certos aspectos da teoria de finanças e outros indicam que a teoria possivelmente ainda tenha que evoluir para explicar o que está sendo feito no ambiente empresarial. A teoria de carteiras de Markowitz (1952) e os modelos de apreçamento de ativos dela derivados foram desenvolvidos para ativos financeiros. Lemme (2001) indica que os principais problemas que surgem quando se tenta aplicá-los a ativos reais são: a indivisibilidade dos ativos; a dificuldade ou impossibilidade de repetição dos eventos, reduzindo a utilidade das medidas estatísticas tradicionais de desempenho; a pouca liquidez e custos de transação elevados; a assimetria de informação entre os investidores, que em muitos casos é o fator decisivo para a realização de negócios com retorno atrativo; a inexistência de um mercado formal que dê transparência às transações efetuadas; e a concentração dos investidores em determinados segmentos de negócios, em virtude de conhecimentos tecnológicos ou de gestão.

Cord (1964) realizou uma das primeiras tentativas para aplicar a teoria de carteiras aos ativos reais. Jones (1985), Quick e Buck (1984), Hightower e David (1991), Brashear, Becker e Gabriel (1999), Helfat (1989), Orman e Duggan (1999), Ball e Savage (1999), Howell III, Anderson e Bentz (1998) e Nepomuceno (1997) estão entre os estudos das décadas de 1980 e 1990 que propuseram o uso da teoria de carteiras na avaliação de investimentos de empresas industriais. Esses trabalhos combinaram a análise individual do risco dos projetos com sua análise conjunta em uma carteira de oportunidades de investimento, chamando atenção para os possíveis ganhos de eficiência advindos da diversificação. Os ativos reais podem ter sensibilidades diferentes em relação aos fatores que influenciam suas receitas e seus gastos, mesmo quando inseridos em um segmento de negócio comum.

Um aspecto importante na avaliação de projetos de investimento é a escolha de medidas de retorno e risco de ativos reais. Brashear, Becker e Gabriel (1999, 2000)

e Helfat (1989) adotaram como métrica da expectativa de retorno de projetos o índice de lucratividade (IL). Brashear, Becker e Gabriel (1999, 2000) maximizam o retorno econômico do projeto. Helfat (1989) focou na minimização da variância do IL para obter um patamar mínimo de retorno econômico para a carteira de projetos de investimento. Tavares (1999) destacou que o IL do projeto fornece boas informações quando a empresa atua sob restrição orçamentária porque mede quanto o projeto acrescenta de valor à empresa por unidade de gastos de investimento. O IL produz bons resultados na hierarquia de projetos quando as proporções dos investimentos dos projetos relativas ao orçamento de capital são pequenas, apesar de ter como deficiência a desconsideração da escala dos projetos.

A dispersão dos valores observados para o preço de um ativo constitui a base para a quantificação do risco na forma da variância, conforme a teoria de carteiras de Markowitz (1952). Quanto maior a dispersão dos valores observados em relação ao seu valor esperado, maior o risco do ativo. De forma semelhante, quanto maior a variabilidade de um indicador de valor econômico de um projeto, maior o seu risco. Os ativos reais apresentam baixa frequência e não repetição de transações, inexistindo registros que sustentem o tratamento de séries históricas como no caso dos ativos financeiros. Orman e Duggan (1999), Ball e Savage (1999), McVean (1999) e Hightower e David (1991) empregaram métodos de simulação de Monte Carlo em estudos de carteiras de ativos reais. Em geral, esses trabalhos procuraram associar distribuições probabilísticas estimadas pelos especialistas das empresas às variáveis fundamentais dos projetos (preço, produção, gastos de investimento e custo operacional). O retorno, a variância e a covariância dos projetos eram determinados simulando-se possíveis trajetórias de comportamento de variáveis fundamentais selecionadas. Este artigo seguirá essa linha de investigação, empregando simulação para formar carteiras de projetos que serão comparadas às carteiras formadas pelo método de ordenamento pelo IL. A média e a variância dos IL simulados representarão o retorno e o risco esperados dos projetos.

O IL foi o selecionado como o indicador de rentabilidade dos projetos, sendo escolhido pela ampla disseminação e não dimensionalidade. O risco de um projeto foi representado pela variância dos IL. A covariância representa a associação entre os projetos e é um parâmetro de entrada fundamental segundo o método prescrito por Markowitz (1952). A simulação de Monte Carlo foi empregada para estimar um IL para cada projeto simulado, a média dos IL simulados (o retorno esperado), a variância dos IL simulados (o risco) e as covariâncias entre os ILs simulados de cada projeto, devido à ausência de um conjunto de registros históricos.

A região de alocação eficiente foi determinada por meio de programação quadrática também seguindo Markowitz (1952). A otimização foi feita tanto permitindo quanto proibindo vendas a descoberto, ao contrário de Hightower e David (1991), Ball e Savage (1999), McVean (1999), Nepomuceno (1997) e Orman e Duggan (1999), que não permitiram vendas a descoberto. A razão foi possibilitar a análise de situações em que participações acionárias ou contratos de concessão em projetos de exploração são negociados em mercado sem que se tenha posse confirmada ou assegurada do recurso natural objeto da atividade econômica.

Algumas premissas de Markowitz (1952) também foram empregadas na otimização realizada neste artigo: vendas a descoberto ilimitadas, quando permitidas; horizonte único de tempo; mercado sem fricção e retorno constante com escala (CRS). A premissa da singularidade do horizonte de análise foi representada pelo ciclo de vida completo de um projeto de investimento. As carteiras eficientes são, portanto, constituídas uma única vez, selecionando-se do conjunto de projetos correntes aqueles que maximizam o retorno da carteira para um dado nível de risco, quer sejam projetos em implantação ou não iniciados. Na ausência de um mercado formal de liquidação das operações de transferências de projetos, considerou-se que as trocas de ativos reais ou a formação de parcerias ocorreriam em um mercado sem fricção. Naturalmente, essa premissa não considera os custos de avaliação de ativos e de administração das parcerias. O CRS é uma premissa fundamental de estudos anteriores e foi adotada admitindo-se a possibilidade de investimento fracionário. Supor CRS implica em considerar que o retorno permanece inalterado, independentemente do nível de investimento alocado ao ativo real quando a variável representando o retorno é o IL.

Um passo importante nesse tipo de metodologia é a escolha das variáveis fundamentais, ou seja, aquelas que são determinantes do desempenho econômico dos projetos. Estas serão as variáveis objeto da simulação de Monte Carlo para se obter uma distribuição de ILs para um projeto. O estudo selecionou duas variáveis, obtendo, a partir delas, uma série amostral de retornos (IL) dos ativos reais. A primeira variável foi o preço do petróleo, responsável por gerar a receita nos projetos que resultam em aumento da produção. A segunda foi o índice de realização dos gastos de investimento (IRGI), que é a razão entre os gastos de investimento feitos e os gastos de investimento previstos do projeto. De um modo geral, todos os projetos possuem uma fase inicial de implantação. Essa fase é definida pelo período em que ocorrem os gastos que viabilizam o incremento de produção ou a redução dos custos operacionais. No fluxo de caixa do projeto, caso os investimentos realizados sejam maiores do que o efetivamente previsto, o IRGI

será maior do que 100%, e o valor presente líquido (VPL) do projeto, e seu IL, será menor do que o esperado. Assim, a relação entre o IL e o IRGI está representada no cálculo do fluxo de caixa. O uso do IRGI busca capturar um padrão sistemático de desvios nas estimativas. Os IRGIs observados podem revelar algum viés das estimativas efetuadas nos estudos de viabilidade ou deficiências recorrentes no processo de implantação de projetos. Este estudo não avalia seus efeitos isolados e sim o resultado final.

Finalmente, será necessário comparar carteiras de projetos escolhidos conforme o ordenamento segundo o IL ou por meio da teoria de carteiras de Markowitz (1952). A comparação das carteiras foi feita por meio do teste de Wang (1998, p. 364), que compara o nível de risco de duas carteiras que possuem o mesmo retorno esperado, chamada de medida de perda de eficiência em termos da variância. O teste (W) está retratado pela Equação 1 e é simplesmente a razão entre o risco da carteira eficiente segundo a otimização de média-variância de Markowitz (σ_{PM}) e o risco da carteira segundo a ordenação pelo IL (σ_{PIL}), a carteira para a qual se deseja medir a perda de eficiência, em um certo nível selecionado do retorno esperado da carteira (R_p). O pressuposto do teste é de normalidade amostral e o desvio-padrão das medidas de Wang de cada projeto em torno da média da medida de Wang de todos os projetos indicará a significância dessa média. A premissa que considera homogeneidade de expectativas é importante para o teste porque se supõe que a carteira à qual se compara a carteira de projetos ordenada segundo o IL é eficiente.

$$W = \frac{\sigma_{PM}}{\sigma_{PIL}} \Big| R_p \quad (1)$$

A próxima seção explica como a análise deste artigo foi feita.

3 Amostra e método

Foram analisados projetos de investimento na área de produção e exploração de petróleo que possuíam retorno econômico positivo segundo os estudos de viabilidade realizados por uma empresa do setor de energia que atua no Brasil. A amostra não inclui todos os projetos de investimento do segmento de exploração e produção de petróleo da empresa que possuíam retorno econômico esperado positivo. A base amostral foi constituída por projetos de produção de petróleo pertencentes a uma das unidades de negócio da empresa, em função da disponibilidade e possibilidade de rastreamento das informações. Nem todos os projetos que possuíam retorno econômico positivo foram considerados, sendo descartados os de pesquisa e desenvolvimento, tecnologia da informação e os relacionados à imagem da companhia. Também foram excluídos os projetos gerados a partir de imposições

legais, tais como os associados à preservação do meio ambiente e à segurança operacional.

A amostra resultou em 14 projetos de investimento aprovados pela empresa. Tais oportunidades de investimento estavam com implantação já iniciada ou por iniciar e nenhuma delas teve sua fase de implantação concluída, adiada ou abandonada durante o estudo. É importante ressaltar que não se avaliou um conjunto de oportunidades de investimento que foram submetidas à aprovação simultânea. Os projetos analisados constituem uma cesta corrente de oportunidades de investimentos que se encontram em diferentes estágios de desenvolvimento, tal como uma carteira de ações engloba empresas em diversos estágios de seu ciclo de vida no momento da decisão. Nesse sentido, a gestão dos projetos da cesta se assemelha a um processo de gerenciamento de carteira.

Os projetos não puderam ser identificados a fim de não ferir a política de confidencialidade de informações da empresa. A empresa multiplicou todos os valores monetários dos projetos fornecidos por um fator que preserva as proporções entre eles. A confidencialidade, contudo, é uma limitação que impede que este estudo de caso seja reproduzido e verificado por outros pesquisadores. A Tabela 1 mostra algumas características básicas dos 14 projetos de investimento e a origem dos seus retornos econômicos.

A hipótese central do trabalho é que as carteiras de projetos de investimento formadas conforme a ordenação de projetos pelo IL são equivalentes a carteiras eficientes de projetos constituídas no espaço média-variância. A formação das carteiras eficientes se deu pela simulação de Monte Carlo de duas variáveis fundamentais de cada projeto: o preço do petróleo e o IRGI.

Os preços do petróleo são os preços diários do tipo Brent obtidos da *Petroleum Argus* e recebidos via correio eletrônico a partir do portal www.petroleumargus.com. Os preços diários foram convertidos para a base anual de modo a compatibilizá-los com a forma como eles são previstos. Duas séries são necessárias para cálculo do IRGI. A série de gastos de investimentos previstos foi obtida de planilhas contendo as estimativas dos técnicos da empresa. A série de gastos de investimentos realizados foi extraída do sistema de contabilidade gerencial da empresa que acumula os gastos anuais realizados por projeto de investimento.

As funções de densidade de probabilidade (FDP) associadas às variáveis foram estimadas a partir dos registros históricos do preço do petróleo e dos IRGIs dos projetos. Essas FDP foram obtidas com o uso do programa *BestFit*[®] da *Palisade Corporation* que determina o tipo de distribuição e os parâmetros que mais se aproximam da amostra de dados. Como o programa determina a distribuição com melhor aderência aos dados, houve uma distribuição diferente para cada variável. A distribuição generalizada de valores extremos foi a com melhor aderência para os preços do petróleo. O IRGI foi calculado para mais de um ano no horizonte de projeções dos projetos porque os investimentos se davam gradualmente durante um certo período. Sendo assim, a FDP ajustada variou a cada ano de investimento uma vez que o programa *BestFit*[®] buscou aquela de melhor ajuste em cada um. A distribuição qui-quadrado foi selecionada no primeiro ano de investimento, a lognormal nos dois anos subsequentes, seguida da distribuição Weibull no ano seguinte e da generalizada de valores extremos para todos os demais anos subsequentes em que houve investimento. O teste

Tabela 1. Projetos de investimento selecionados e origens dos retornos econômicos.

Projeto de investimento	Primeiro ano com investimentos previstos	Último ano com investimentos previstos	Origens dos retornos econômicos
P1	2001	2001	Aumento da produção
P2	1995	1997	Aumento da produção
P3	1998	1998	Aumento da produção
P4	1997	1998	Aumento da produção
P5	1992	2000	Aumento da produção
P6	1996	2000	Aumento da produção
P7	1993	1997	Aumento da produção
P8	1996	2002	Aumento da produção
P9	1996	2002	Aumento da produção
P10	1996	2000	Aumento da produção
P11	1996	1999	Aumento da produção
P12	2000	2001	Redução do custo
P13	2000	2001	Aumento da produção
P14	2001	2001	Aumento da produção

Fonte: dados privados da empresa analisada.

de aderência empregado pelo programa *BestFit*[®] é o de χ^2 , como definido por Pearson (veja PLACKETT, 1983), que considera o somatório dos quadrados das diferenças entre as frequências observadas e esperadas divididas pelas frequências esperadas, que são determinadas segundo a FDP ajustada aos dados. Estamos cientes de que há outros testes de aderência, como o de Kolmogorov-Smirnov, mas o programa *BestFit*[®] já incorpora o teste de Pearson na escolha da melhor FDP para a simulação de Monte Carlo. A aproximação foi feita com base no critério de estimadores de máxima verossimilhança, balizado no valor do teste χ^2 .

O modelo de simulação de Monte Carlo usou essas FDPs para gerar os parâmetros de retorno esperado (média dos IL simulados) e risco (desvio-padrão dos IL simulados) de cada projeto, assim como a matriz de covariância dos IL simulados dos 14 projetos. A amostra dos IL dos 14 projetos foi obtida simulando-se 1.000 trajetórias de comportamento do preço do petróleo e do IRGI a partir das FDPs a eles associadas. O resultado foi a formação de 14 conjuntos de 1.000 IL, um para cada projeto, permitindo obter os parâmetros de risco e retorno dos projetos individuais e a matriz de covariância entre os retornos dos projetos. Esses parâmetros foram posteriormente empregados na estimação do retorno e do risco das carteiras eficientes.

A Tabela 2 mostra as estatísticas descritivas dos 1.000 IL obtidos na simulação dos 14 projetos. Os resultados apontam que o IL médio variou entre 1,85 (P13) e 8,53 (P12). O risco (desvio-padrão) do IL dos projetos variou entre 2,03 (P11) e 18,23 (P1). Os valores mínimos do IL indicam que há possibilidade

de perda de valor em seis dos 14 projetos. As distribuições dos retornos são significativamente leptocúrticas (curtose acima de 30) em seis projetos e significativamente assimétricas em cinco deles (assimetria superior a nove).

O projeto de maior retorno esperado (P12) não é o de maior risco, assim como o de menor retorno esperado (P13) não apresenta o menor risco. As características peculiares de cada projeto e suas diferentes sensibilidades às variáveis simuladas sugerem que seus comportamentos referentes ao risco e ao retorno não são homogêneos. Os resultados da Tabela 2 permitem estabelecer uma ordenação decrescente dos projetos segundo o IL médio (retorno), uma ordenação crescente de risco (desvio-padrão) do IL e uma ordenação da relação retorno-risco, medida pelo inverso do coeficiente de variação. Os projetos mais atraentes são o P12, segundo o retorno esperado (IL), o P11, pelo risco menor, e o P7, de acordo com a relação retorno-risco (média dividida pelo desvio-padrão). Esses resultados descritivos sugerem que o ordenamento segundo o IL poderá ser muito diferente do obtido conforme a otimização de média-variância do IL.

As carteiras de projetos formadas segundo o critério tradicional em uso pela empresa de ordenamento pelo IL foram comparadas às carteiras eficientes obtidas da simulação. Foram constituídas 14 carteiras segundo o critério tradicional, sendo a primeira carteira composta somente pelo projeto de maior IL, a segunda pelos dois projetos de maior IL e assim sucessivamente, até a 14ª carteira, formada pelos 14 projetos. O peso de cada projeto na carteira foi definido pelo nível de investimento previsto nos estudos de viabilidade.

Tabela 2. Estatísticas descritivas dos IL simulados dos projetos de investimento e ordenação dos projetos.

Projeto	Média (M)	Ordem M	DP	Ordem DP	M/DP	Ordem M/DP	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
P12	8,53	1	9,08	10	0,94	6	1,08	108,75	4,00	28,54
P2	7,32	2	12,59	11	0,58	10	0,97	309,01	15,67	342,54
P1	6,37	3	18,23	14	0,35	13	-0,41	331,82	9,35	127,31
P6	6,08	4	6,48	8	0,94	7	0,31	69,76	3,70	22,56
P10	5,26	5	4,27	5	1,23	3	0,55	33,60	2,30	7,73
P3	5,13	6	14,50	13	0,35	12	-0,50	213,48	7,82	82,51
P9	5,11	7	4,68	7	1,09	4	0,36	41,30	3,01	12,76
P7	4,62	8	3,30	4	1,40	1	0,30	25,06	2,06	6,28
P8	4,47	9	4,45	6	1,00	5	0,16	46,02	3,53	19,44
P14	4,13	10	12,66	12	0,33	14	-0,63	228,23	9,23	123,86
P11	2,69	11	2,03	1	1,33	2	0,15	15,91	2,09	6,86
P4	2,67	12	6,52	9	0,41	11	-0,13	182,50	21,71	582,41
P5	2,27	13	2,63	2	0,86	8	-0,22	25,15	3,24	15,17
P13	1,85	14	2,90	3	0,64	9	-0,24	57,82	9,83	160,23

Fonte: dados privados da empresa analisada e simulações feitas pelos autores. Notas: Estatísticas de 1.000 IL simulados. Tabela ordenada segundo o IL médio. Desvios-padrão (DP) do IL ordenados do menor para o maior e razão entre a média e o desvio-padrão do IL ordenada da maior para a menor.

Assim, se um projeto previa um investimento de 20 unidades e outro de 30 unidades, o peso do primeiro projeto em uma carteira composta pelos dois projetos será de 40% (20/50). O retorno (IL) foi obtido pela média ponderada dos retornos médios conseguidos na simulação para cada projeto empregando esses pesos.

A ordenação de projetos conforme o IL não emprega metodologias de racionamento de capital (métodos de programação linear ou inteira), prestando-se somente à função de formar carteiras potenciais, ordenadas segundo um parâmetro de rentabilidade (IL). É necessário destacar que o estudo se restringe à busca de eficiência na relação risco-retorno da variável IL. Não são incorporadas ao modelo outras metas relevantes da companhia (econômicas ou operacionais), o que pode gerar resultados que suscitem conflitos recorrentes entre as metas.

4 Resultados

A pergunta deste estudo é se há diferença relevante entre as carteiras de projetos formadas com base no seu ordenamento segundo o retorno (IL) e as carteiras de projetos obtidas por meio da otimização

de média-variância (retorno-risco). A comparação dos resultados obtidos com carteiras de projetos formadas segundo os dois métodos envolve avaliar o risco de carteiras que possuem o mesmo retorno com o emprego da segunda forma do teste de Wang (1998). Como o teste consiste da razão entre o desvio-padrão da carteira formada segundo o método de Markowitz (1952) pelo desvio-padrão da carteira formada segundo a ordenação pelo IL para um mesmo nível de retorno, as carteiras possuem eficiências similares se o valor médio da estatística de Wang para os projetos da amostra for igual a 100%. Quanto menor o valor médio obtido, menor a eficiência das carteiras formadas segundo o rito tradicional de ordenação dos projetos pelo IL e mais importante será a consideração conjunta do retorno-risco.

A Tabela 3 apresenta os resultados. Nas três últimas linhas da tabela encontram-se o grau médio de eficiência das carteiras formadas segundo a ordenação pelo IL, seu respectivo desvio-padrão e a estatística z deles derivada. Observa-se que, na média, o risco das carteiras formadas segundo o método de Markowitz sem restrição a vendas a descoberto é de 54,48% do risco das carteiras formadas segundo a ordenação

Tabela 3. Eficiência das carteiras obtidas por ordenação em relação às carteiras eficientes de Markowitz.

Carteira	IL médio	Vendas a descoberto permitidas			Vendas a descoberto proibidas		
		Risco (MV)	Risco (IL)	Wang	Risco (MV)	Risco (IL)	Wang
1	4,18	2,38	3,76	63,29%	2,60	3,76	69,14%
2	4,39	2,48	7,47	33,16%	2,74	7,47	36,64%
3	4,88	2,70	8,47	31,93%	3,08	8,47	36,42%
4	5,19	2,85	4,48	63,51%	3,32	4,48	73,99%
5	5,20	2,85	4,48	63,55%	3,32	4,48	74,04%
6	5,20	2,85	4,46	63,92%	3,32	4,46	74,48%
7	5,30	2,89	4,59	63,06%	3,39	4,59	73,95%
8	5,33	2,91	4,69	62,02%	3,42	4,69	72,89%
9	5,34	2,91	4,70	61,94%	3,42	4,70	72,83%
10	5,39	2,94	4,86	60,45%	3,47	4,86	71,32%
11	5,76	3,11	5,04	61,59%	3,76	5,04	74,65%
12	6,00	3,22	6,21	51,77%	3,99	6,21	64,24%
13	7,48	3,90	11,40	34,25%	6,43	11,40	56,39%
14	8,53	4,39	9,08	48,35%	9,08	9,08	99,95%
		Wang médio (WM)		54,48%	Wang médio		67,92%
		DP Wang (DPW)		12,47%	DP Wang		16,00%
		z		-13,66	z		-7,50

Fonte: variáveis privativas da empresa analisada e simulações realizadas pelos autores. Notas: IL é o índice de lucratividade que representa o retorno. Risco (MV) é o desvio-padrão da carteira na fronteira eficiente que corresponde ao IL médio. Risco (IL) é o desvio-padrão da carteira formada segundo a ordenação pelo IL. A carteira 14 é formada pelo projeto de maior IL, a carteira 13 pelos dois projetos de maior IL, ponderados segundo o nível de investimento previsto no projeto baseado nos estudos de viabilidade técnica e econômica, e assim sucessivamente. Wang é a razão entre risco (MV) e o risco (IL) para cada nível de IL selecionado. DP é desvio-padrão. Z é o escore com distribuição normal igual a $(WM - 100)/(DPW/14^{0.5})$ e que indica a significância da diferença entre o Wang médio e 100, que seria o Wang médio caso as carteiras formadas segundo o IL sejam eficientes.

pelo IL. O resultado do teste sugere, portanto, que carteiras formadas segundo a ordenação do IL não são eficientes e a estatística z é significativa. Os resultados em que não se permitem vendas a descoberto são similares. A não ser por uma das carteiras, os riscos das carteiras formadas segundo o ordenamento pelo IL são maiores do que com as carteiras de projetos formadas segundo o método de Markowitz.

5 Conclusões, limitações e sugestões

O estudo indicou que a aplicação da teoria de carteiras de Markowitz (1952) pode melhorar a eficiência da alocação dos recursos de capital. Os resultados sugerem que a metodologia que ordena projetos pelo IL resulta em perda de eficiência nas carteiras formadas, seja ou não considerada a restrição à venda a descoberto dos ativos reais. As diferenças observadas nas eficiências das carteiras formadas por ordenação segundo o IL e nas carteiras eficientes são devidas às alterações nas distribuições dos recursos, fruto das diferenças entre os critérios de seleção de projetos. Enquanto a ordenação dos projetos enfatiza a maximização do retorno, a teoria de carteiras enfatiza a relação risco-retorno.

Os montantes globais atribuídos aos projetos são definidos no momento em que a ordenação é feita nas carteiras formadas segundo a ordenação pelo IL. Nas carteiras eficientes, a alocação de recursos desvincula-se do investimento requerido pelo projeto e da sua posição em uma ordenação, passando a considerar o objetivo de redução do risco da carteira, dado um nível de retorno. Por exemplo, a participação do projeto P2 em mais de 70% das carteiras eficientes formadas pode ser atribuída às baixas correlações que este projeto possui com os demais, considerando-se o seu elevado risco.

Os resultados obtidos ganham relevância na medida em que podem ser traduzidos em aperfeiçoamentos do processo decisório. O método de otimização de carteiras pode ser um elemento adicional a ser considerado na decisão de orçamento de capital. Isso é particularmente importante no caso das empresas de energia com atuação no segmento de petróleo devido ao grande número de oportunidades disponíveis diante de sua capacidade financeira. Os executivos das empresas podem decidir, assim como o investidor financeiro, que ativos melhor se ajustam à carteira corporativa.

Outro aspecto de interesse prático refere-se à possibilidade de investir em ativos reais de forma fracionária. As parcerias são formas de investimento nas quais as empresas definem a fração ideal de participação nos projetos de interesse, existindo diversas oportunidades para esse tipo de atuação na área de petróleo. Sendo assim, o estudo apresenta resultados que podem subsidiar tais negociações, conferindo consistência às análises de parcerias. A teoria de carteiras coloca em evidência a conveniência

econômica de se estabelecerem alianças com parceiros a fim de formar carteiras eficientes, mesmo quando a empresa possuir recursos suficientes para investir em todos os ativos reais que desejar.

Finalmente, cabe ressaltar que, com o uso do modelo de Markowitz aplicado aos ativos reais, a empresa ganha a possibilidade de gerenciar ativamente sua carteira de projetos, reconhecendo e administrando o seu risco e aumentando a eficiência das carteiras formadas. Estender as conclusões deste exercício empírico para qualquer amostra de projetos de investimento não parece, no entanto, adequado, tendo em vista a especificidade dos projetos avaliados, a natureza mercadológica do produto e as incertezas técnicas inerentes ao negócio. Contudo, os resultados obtidos favorecem e motivam o desenvolvimento de modelos melhor ajustados à realidade de seleção dos projetos de investimento de cada empresa.

Algumas limitações deste trabalho podem ser objeto de análises futuras. Ball e Savage (1999), Orman e Duggan (1999) e Hightower e David (1991) consideram que a possibilidade de perda representa melhor o risco. Chen e Maghsoodloo e Park (1991) mostraram, todavia, que as dificuldades computacionais crescem significativamente ao se empregar a semivariância como parâmetro representativo do risco do ativo. Simkowitz e Beedles (1978) sugeriram que o coeficiente de assimetria também influencia a decisão de diversificação do investidor que aplica em ativos financeiros, uma vez que o risco torna-se desejável quando os retornos dos ativos possuem distribuições assimétricas à direita. Este trabalho não considerou momentos superiores da distribuição de retornos, uma vez que o coeficiente de assimetria foi significativo apenas em cinco dos projetos analisados. A ordenação de projetos conforme o IL não considerou o racionamento de capital, o que não é um problema crítico para a empresa analisada, mas pode ser relevante em outros setores econômicos. A simulação considerou apenas duas variáveis críticas. Evidentemente, outras variáveis poderiam ser consideradas, sendo diferentes e, possivelmente, mais numerosas em outros setores econômicos.

Referências

- BALL JUNIOR, B. C.; SAVAGE, S. L. Holistic vs. Hole-istic E&P strategies. *Journal of Petroleum Technology*, v. 51, n. 9, p. 74-84, 1999.
- BRASHEAR, J. P.; BECKER, A., GABRIEL, S. Interdependencies among E&P projects and portfolio risk management. In: SPE ANNUAL TECHNICAL CONFERENCE AND EXHIBITION, 1999, Houston, Texas. *Proceedings...* Houston: Society of Petroleum Engineers, 1999. p. 447-459.
- BRASHEAR, J. P.; BECKER, A.; GABRIEL, S. Managing scenario risk in offshore development projects combining portfolio analysis with scenario modeling. *Offshore*, v. 60, n. 1, p. 122-124, 2000.

- CHEN, L. C.; MAGHSOODLOO, S.; PARK, C. S. A method for approximating semivariance in project portfolio analysis. **The Engineering Economist**, v. 37, n. 1, p. 33-59, 1991. <http://dx.doi.org/10.1080/00137919108903056>
- CORD, J. A method for allocating funds to investment projects when returns are subject to uncertainty. **Management Science**, v. 10, n. 2, p. 335-341, 1964. <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.10.2.335>
- GRAHAM, J.; HARVEY, C. How do CFOs make capital budgeting and capital structure decisions? **Journal of Applied Corporate Finance**, v. 15, n. 1, p. 8-23, 2002. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-6622.2002.tb00337.x>
- HELPHAT, C. E. Investment in offshore oil by diversified petroleum companies. **The Journal of Industrial Economics**, v. 38, n. 1, p. 79-93, 1989. <http://dx.doi.org/10.2307/2098400>
- HIGHTOWER, M. L.; DAVID, A. Portfolio modeling: a technique for sophisticated oil and gas investors. In: SPE HYDROCARBON ECONOMICS & EVALUATION SYMPOSIUM, 1991, Dallas, Texas. **Proceedings...** Houston, Texas: Society of Petroleum Engineers, 1991. p. 53-64.
- HOWELL III, J. I.; ANDERSON, R. N.; BENTZ, B. Managing E&P assets from a portfolio perspective. **Oil & Gas Journal**, v. 96, n. 48, p. 54-57, 1998.
- JONES, W. A. How the portfolio approach aids exploration strategic planning. In: SPE ANNUAL TECHNICAL CONFERENCE AND EXHIBITION, 1985, Las Vegas, Nevada. **Proceedings...** Houston, Texas: Society of Petroleum Engineers, 1985. 12 p.
- LAUGHTON, D.; GUERRERO, R.; LESSARD, D. Real asset valuation: a back-to-basics approach. **Journal of Applied Corporate Finance**, v. 20, n. 2, p. 46-65, 2008. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-6622.2008.00180.x>
- LEMME, C. F. Revisão dos modelos de avaliação de empresas e suas aplicações nas práticas de mercado. **Revista de Administração da USP**, v. 36, n. 2, p. 117-124, 2001.
- MARKOWITZ, H. Portfolio selection. **The Journal of Finance**, v. 7, n. 1, p. 77-91, 1952.
- MCVEAN, J. Method balances portfolio risk, return. **The American Oil & Gas Reporter**, v. 42, n. 3, p. 76-80, 1999.
- NEPOMUCENO, F. F. **Tomada de decisão em projetos de risco na exploração de petróleo**. 1997. 243 f. Tese (Doutorado em Geociências)-Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.
- ORMAN, M. M.; DUGGAN, T. E. Applying modern portfolio theory to upstream investment decision making. **Journal of Petroleum Technology**, v. 51, n. 3, p. 50-53, 1999. <http://dx.doi.org/10.2118/54774-MS>
- PLACKETT, R. L. Karl Pearson and the Chi-Squared Test. **International Statistical Review**, v. 51, n. 1, p. 59-72, 1983. <http://dx.doi.org/10.2307/1402731>
- QUICK, A. N.; BUCK, N. A. Viability and portfolio analysis as tools for exploration strategy development. **Journal of Petroleum Technology**, v. 36, n. 4, p. 619-627, 1984. <http://dx.doi.org/10.2118/11300-PA>
- ROLL, R. What every CFO should know about scientific progress in financial economics: What is known and what remains to be resolved. **Financial Management**, v. 23, n. 2, p. 69-75, 1994. <http://dx.doi.org/10.2307/3665740>
- SIMKOWITZ, M. A.; BEEDLES, W. L. Diversification in a three-moment world. **The Journal of Financial and Quantitative Analysis**, v. 13, n. 15, p. 927-941, 1978. <http://dx.doi.org/10.2307/2330635>
- TAVARES, M. J. D. **Bidding strategy for E&P licensing opportunities**. 1999. Dissertation (Master of Mines)-T. H. Huxley School of Environment, Earth Science and Engineering, Royal School of Mines, Imperial College of Science, Technology and Medicine, University of London, London, 1999.
- WANG, Z. Efficiency loss and constraints on portfolio holdings. **Journal of Financial Economics**, v. 48, n. 3, p. 359-375, 1998. [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-405X\(98\)00015-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-405X(98)00015-4)