

GLICÉRIO GENTILE MARANGONI

**APLICAÇÃO DA MODERNA TEORIA DO PORTFÓLIO EM ATIVOS NÃO
FINANCEIROS**

GLICÉRIO GENTILE MARANGONI

**APLICAÇÃO DA MODERNA TEORIA DO PORTFÓLIO EM ATIVOS NÃO
FINANCEIROS**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Alexandre de Oliveira

Marangoni, Glicério Gentile

M311a Aplicação da moderna teoria do Portfólio em ativos não financeiros /
Glicério Gentile Marangoni. - Guaratinguetá, 2015

30 f.: il.

Bibliografia: f. 28-30

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015

Orientador: Prof. Dr. Francisco Alexandre de Oliveira

1. Mercados financeiros futuros 2. Avaliação de riscos I. Título

CDU 336.5

GLICÉRIO GENTILE MARANGONI

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

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


Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. FRANCISCO ALEXANDRE DE OLIVEIRA
Orientador/UNESP-FEG


Ma. FRANCISCA JEANNE SIDRIM DE FIGUEIREDO
URCA


Me. FLÁVIO MENDONÇA BEZERRA
URCA

Fevereiro de 2015

DADOS CURRICULARES

Glicério Gentile Marangoni

NASCIMENTO	27.03.1992 – GUARATINGUETÁ/ SP
FILIAÇÃO	Glicério Marangoni Teresinha de Jesus Gentile Marangoni
2010/2014	Curso de Graduação em Engenharia Mecânica na Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista.

A Deus por sempre me levantar e sustentar.

A minha melhor amiga Mariana, por estar ao meu lado sempre.

Dedico também a minha mãe Teresinha, irmãs Danúbia e Daiane e avó Gessy, simplesmente por existirem.

AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo a Deus, por nunca falhar e sempre me abençoar.

A minha melhor amiga Mariana, por trazer sempre o melhor em mim.

A minha mãe e família por proporcionarem minha chegada até aqui.

Agradeço ao meu orientador Professor Dr. Francisco Alexandre de Oliveira pela ajuda, atenção e apoio durante a realização deste trabalho.

.

“Nosso maior medo não é o de que sejamos inadequados. Nosso maior medo é o de que sejamos poderosos além da medida.”

Marianne Williamson.

MARANGONI, G. G. **Aplicação da moderna teoria do Portfólio em ativos não financeiros**. 2015. 30 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

RESUMO

As funções objetivo de Markowitz, *Value-at-Risk* e *Conditional Value-at-Risk*, são ferramentas amplamente utilizadas no mercado financeiro para a otimização de portfólios. Este trabalho busca analisar estas funções tendo como objetivos adaptá-las para a aplicação em portfólios de ativos não financeiros. O trabalho utiliza como exemplo o mercado de energia elétrica para analisar e otimizar a carteira de investimentos fictícia de uma possível concessionária de energia elétrica. Demonstrando-se assim que, além de possível, quais considerações devem ser tomadas e quais análises realizadas para que se aplique a Moderna Teoria do Portfólio no universo de ativos não financeiros.

PALAVRAS-CHAVE: *Conditional Value-at-Risk*, Ativos não financeiros, Moderna Teoria do Portfólio.

MARANGONI, G. G. **Application of the modern Portfolio theory for non financial assets.** 2015. 30 f. Graduate Work (Graduate in Mechanical Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

ABSTRACT

The Markowitz's objective functions, *Value-at-Risk* and *Conditional Value-at-Risk*, are largely used tools in the financial Market for portfolio optimization. This paper tries to analyze these functions having as a target to adapt them for application in non-financial assets portfolios. The paper uses as an example the Electricity Market to analyze and optimize a fictitious investment portfolio of a possible electric power utility. Showing that, besides being possible, which considerations must be taken and which analysis must be made to apply the Modern Portfolio Theory in the non-financial universe.

KEYWORDS: *Conditional Value-at-Risk*, Non-financial assets, Modern Portfolio Theory.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Plataforma Scopus.....	15
Figura 2 – Lista de autores com maior número de artigos	16
Figura 3 – Gráfico da Fronteira Eficiente de Contratação.....	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Médias históricas de PLD	21
Tabela 2 – Simulação de Caso: Carteira de Compra e Venda de Energia Utilizada na Modelagem	22
Tabela 3 – Valores arbitrários selecionados a partir do gráfico de Fronteira Eficiente	25

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	13
1.2	JUSTIFICATIVA	13
1.3	MÉTODO DE PESQUISA	14
1.4	ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	15
2	A QUESTÃO DOS ATIVOS NÃO FINANCEIROS	16
3	A MODERNA TEORIA DO PORTFÓLIO	17
3.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	17
3.2	BINÔMIO RISCO X RETORNO	18
4	A MODERNA TEORIA DO PORTFÓLIO APLICADA EM ATIVOS NÃO FINANCEIROS	18
4.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	18
4.2	MÉTRICOS PARA RETORNO E RISCO	19
5	APLICAÇÃO	19
5.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	19
5.2	COLETA DE DADOS	20
5.3	ELABORAÇÃO DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO	21
6	CONCLUSÕES	26
6.1	CONCLUSÕES	26
6.2	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	27
7	REFERÊNCIAS	28

1 INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho é aplicar a moderna teoria do portfólio a ativos não financeiros para definição de estratégias de produção das empresas, tendo como enfoque o Mercado de Energia.

Este trabalho também busca, especificamente, consolidar uma abordagem metodológica para tomada de decisão em investimentos com risco, considerando a natureza de ativos não financeiros. Ele integra as áreas de pesquisa operacional, tomada de decisão e estatística para consolidar as ferramentas de análise de portfólio, utilizando-se o *CVaR* (*Conditional Value-at-Risk*) como medida de risco. Ademais, o trabalho aborda e estrutura uma possível solução para o problema financeiro da otimização simultânea: minimização do risco e maximização do retorno em investimentos.

1.2 JUSTIFICATIVA

A relevância prática dos modelos de seleção de portfólios vem crescendo constantemente. Esta é uma consequência do interesse de investidores (principalmente do setor privado) em definir ferramentas capazes de gerenciar o investimento realizado em algum portfólio de ativos. Ademais, a crise atual no setor elétrico causada pelas secas e pela má capacidade de decisão dos órgãos governamentais, tornam a análise do mercado energia um assunto de extrema relevância.

Na área financeira, portfólio é o nome dado a um conjunto de alternativas de investimentos, sendo que cada alternativa de investimento constitui um ativo. Enquanto que na área não financeira, portfólio constitui a lista de produtos e/ou serviços oferecidos por uma empresa em determinado ramo de negócios, os quais podem ser classificados como ativos não financeiros. Deste modo, o ativo varia, de acordo com mercado em que o investidor está inserido: se for um investidor proprietário de uma usina de geração de energia elétrica o ativo é cada contrato de compra e venda que a empresa possui com os clientes; se for investidor de um mercado de derivativos o ativo pode ser uma opção de compra ou venda ou um *swap*; caso o investidor atue no mercado de ações, o ativo pode ser ações de uma determinada empresa. Como pode ser observado, cada mercado possui características próprias, fontes de incertezas inerentes a cada um e, consequentemente diferentes níveis e tipos de riscos.

A dúvida que surge é como medir o risco presente no investimento. Na verdade, esta questão é mais complexa, necessitando-se primeiro definir o que é risco. Um dos trabalhos mais relevantes desta discussão é o trabalho de Markowitz, que modelou o risco como uma medida de dispersão nos valores do retorno esperado de um investimento, utilizando como medida a variância dos retornos. Deste modo, Markowitz pode selecionar qual o portfólio possuía a menor variância para um dado retorno pré-fixado, este é o portfólio ótimo. Mais recentemente, partindo da observação que os desvios positivos e negativos dos retornos a partir das suas médias não são coerentes para a visão do investidor, que associava risco a algo pessimista (a uma perda, por exemplo), foi desenvolvida a medida *Value at Risk (VaR)*. A medida *VaR* é baseada em quartis da distribuição dos retornos, considerando o lado negativo da distribuição (onde ocorrem as perdas). No entanto, o *VaR* vem sofrendo algumas críticas, sendo considerada uma medida inconsistente de risco, sendo criada por Rockafellar e Uryasev a medida *Conditional Value at Risk (CVaR)* que é mais consistente que o *VaR*.

Diversos trabalhos têm sido publicados em otimização de portfólio de ativos, tendo como medida de risco o *CVaR*. Contudo, divergências vêm surgindo a respeito da solução obtida com os modelos de otimização. Uma destas questões é que, dependendo do método de coleta de dados e resolução do modelo de otimização, os resultados são inúteis em termos práticos. Isto ocorre principalmente na quantificação de alguns parâmetros, como por exemplo, o risco de crédito, que é algo qualitativo em fluxos de caixa, dificultando a solução do problema. Deste modo, a pesquisa e a publicação nesta área são justificadas.

1.3 MÉTODO DE PESQUISA

Alguns pontos motivam a realização deste trabalho. Entre eles, a literatura financeira apresenta necessidades de trabalhos que manipulem o binômio risco/retorno. Além disso, a fonte de pesquisa principal são os artigos científicos, principalmente os artigos pertencentes ao site www.periodicos.capes.gov.br. Por fim, os dados a respeito dos ativos financeiros, necessários para a aplicação, são disponibilizados na internet. Estes dados fazem parte da informação aos investidores e passam por um processo de validação, antes de serem enviados via internet. Esta questão dos dados, não invalida o trabalho, pois existem inúmeros artigos publicados em revistas e periódicos indexados que utilizam esta estratégia.

A pesquisa vai ser iniciada com uma revisão bibliográfica a respeito do estado da arte em otimização de portfólios: as medidas de risco utilizadas, as métricas de retorno e os modelos de obtenção do portfólio ótimo. Nesta etapa, serão definidos os softwares utilizados

para automatizar o processo de solução do problema do portfólio. A segunda etapa consiste na aplicação da moderna teoria do portfólio a ativos não financeiros em uma concessionária de energia elétrica. A segunda etapa consiste na aplicação da Moderna Teoria do Portfólio a ativos não financeiros, os quais serão, neste trabalho, relativos aos de uma concessionária de energia elétrica. Com os resultados da fase do diagnóstico e da revisão bibliográfica, é possível definir uma abordagem metodológica para a otimização de portfólios, considerando o tipo de ativo comercializado e a classificação dos riscos presentes na operação da empresa. A última etapa consta da aplicação da abordagem metodológica e da análise dos resultados obtidos.

1.4 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Para este trabalho, buscou-se utilizar dois sistemas bibliométricos: o programa Sitkis e a plataforma Scopus. Quando comparados, observou-se que a plataforma Scopus seria a mais adequada devido a sua maior simplicidade e maior capacidade de análise dos resultados.

Dentro da plataforma Scopus determinou-se o tópico de pesquisa como “Conditional value-at-risk” e limitou-se a data de publicação dos artigos pesquisados entre os anos de 2009 e 2014.

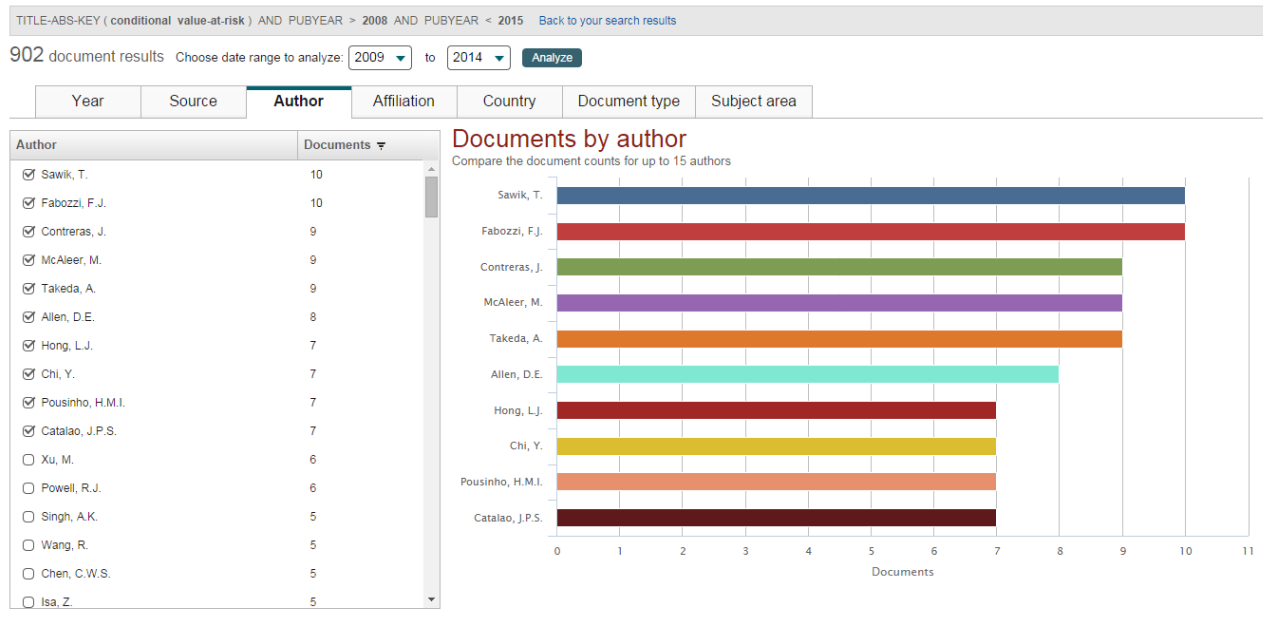
Figura 1: Plataforma Scopus

The image shows the Scopus search interface. At the top, there is a navigation bar with links for Search, Alerts, My list, and Settings. Below this, a search bar contains the text "conditional value-at-risk". To the right of the search bar, there are options for "Article Title, Abstract, Keywords" and a search button. Below the search bar, there are filters for "Limit to:" including "Date Range (inclusive)" set to "Published" from "2009" to "2014", and "Document Type" set to "ALL". There are also checkboxes for "Subject Areas" including "Life Sciences", "Health Sciences", "Physical Sciences", and "Social Sciences & Humanities". On the right side, there is a "Resources" section with links to follow @Scopus on Twitter, access Scopus videos, and learn about alerts and registration. At the bottom, there is a footer with links for "About Scopus", "Language" (Japanese, Chinese, and Traditional Chinese), "Customer Service" (Help and Contact, Live Chat), "About Elsevier" (Terms and Conditions, Privacy Policy), and the Elsevier logo.

(Fonte: <http://www.scopus.com/>)

Feito isto, utilizou-se a própria ferramenta de análise do site para identificar os autores mais prolíficos quanto ao tópico desejado.

Figura 2: Lista de autores com maior número de artigos



(Fonte: <http://www.scopus.com/>)

A partir da lista de autores obtida, buscou-se pelos trabalhos de maior influência acadêmica. Para isto, utilizou-se novamente a plataforma Scopus para a classificação dos artigos quanto ao número de vezes que foram citados na literatura. Com base nesta análise obteve-se a lista de artigos que será utilizada como referência para este trabalho.

Processo semelhante foi realizado para a obtenção da bibliografia referente ao tópico de “Non financial assets”. Infelizmente, tal tópico retornou um número pequeno e pouco relevante de trabalhos sobre o assunto, portanto optou-se em buscar artigos relacionados ao tópico de “Financial assets”, o qual apresentava artigos de maior relevância e em maior número. A principal diferença na análise de artigos não financeiro e financeiro está no fato de que o último apresenta maior liquidez (facilidade de conversão em moeda), enquanto o não financeiro deve envolver esta conversão de dinheiro.

2 A QUESTÃO DOS ATIVOS NÃO FINANCEIROS

Ativos não financeiros são todos aqueles cujo valor é baseado em suas características tangíveis e propriedades. Ao contrário de financeiros, cujo valor se dá por uma alegação contratual, sendo negociados principalmente em mercados financeiros. A diferenciação entre ambos ocorre também quanto à questão da liquidez de ambos. Quanto maior a liquidez de um ativo, maior sua facilidade de ser vendido e convertido em moeda, com a menor redução de

preço possível. Ativos financeiros apresentam em geral uma elevada liquidez, devido principalmente a toda a moderna infraestrutura de negociação existente para o mercado de ações. Enquanto mercados para negociação de ativos não financeiros são mais específicos e raros, características que reduzem sua liquidez. Portanto, um dos pontos deste trabalho está em analisar tais diferenças para possibilitar a adaptação e aplicação da Moderna Teoria do Portfólio dentro do universo de ativos não financeiros.

Segundo Tonelli (2006), analisando-se especificamente o mercado de energia elétrica, observa-se que seus ativos são os contratos que oficializam a relação de compra e venda de energia elétrica. Nos quais especifica-se os montantes, prazos, flexibilidades, preços e demais condições comerciais, sendo divididos em diferentes tipos como: derivativos, opções, *swaps* e *collars*.

3 A MODERNA TEORIA DO PORTFÓLIO

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A Moderna Teoria do Portfólio, uma hipótese criada por Harry Markowitz, é uma teoria de investimento baseada na idéia de que investidores aversos ao risco, podem construir portfólios para otimização e maximização dos retornos esperados baseado em um dado nível de risco de mercado, enfatizando-se que o risco é uma parte inerente ao maior retorno. Esta é uma das mais importantes e influentes teorias econômicas que lidam com finanças e investimento.

Também conhecida como “Teoria do Portfólio” ou “Teoria de Gerenciamento de Portfólio”, a Moderna Teoria do Portfólio sugere que é possível construir-se uma “fronteira eficiente” de portfólio ótimo, oferecendo-se o maior possível retorno esperado para um dado nível de risco. Ela afirma que não é suficiente analisar o risco e retorno esperados de apenas um ativo em particular. Investindo-se em mais de um ativo, pode-se obter os benefícios da diversificação.

3.2 BINÔMIO RISCO X RETORNO

Na teoria clássica de portfólio, o objetivo consiste em obter o máximo retorno esperado para um nível de risco. Existem três dimensões a serem consideradas no problema: o retorno esperado de cada ativo que compõe o portfólio, o risco que cada ativo traz ao portfólio

e a quantidade investida em cada ativo. Simplificadamente, Otimização de Portfólio é a busca por um vetor de quantidades a serem investidas em um conjunto de ativos candidatos que satisfaz um número de restrições a um mínimo risco. Ao se construir um gráfico, cujo eixo das ordenadas representa o retorno e o eixo das abscissas o risco, o espaço geométrico formado pelo conjunto retorno/risco mínimo é denominado *fronteira eficiente*.

Medir o risco é equivalente a estabelecer uma correspondência ρ entre um espaço formado pelos valores da variável aleatória retorno $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ e um número real não negativo, ou seja, $\rho: X \rightarrow \mathbb{R}$. Ao número real obtido, denomina-se medida escalar de risco, que permite comparar investimentos de acordo com seu respectivo valor de risco. A apuração do risco considera a distribuição de probabilidade dos retornos ou perdas, baseando-se em medidas de dispersão. Atualmente, as principais abordagens para mensuração do risco são: o *Value-at-Risk (VaR)* e o *Conditional Value at Risk (CVaR)*.

4 A MODERNA TEORIA DO PORTFÓLIO APLICADA EM ATIVOS NÃO FINANCEIROS

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O gerenciamento de riscos é algo importante não apenas para investidores do mercado financeiro, mas também para investidores e empresas que atuam no mercado de ativos não financeiros. No entanto, poucos estudos foram realizados para adaptar a teoria de otimização de portfólio a este tipo de mercado, cada ativo não financeiro apresenta um mercado e variáveis específicas para serem analisadas, tornando-o um processo trabalhoso. Dentro do universo de ativos não financeiros, o de Mercado de Eletricidade apresenta grande necessidade deste tipo de análise de riscos. Seus investidores necessitam levar em conta não apenas o montante que será comercializado, como também maneiras de se mensurar os riscos relacionados a flutuações do preço da energia no mercado de curto prazo (*spot*), o que torna este problema um de otimização multiobjetivo. Ademais, os diferentes tipos de contratação existentes são utilizados pelas geradoras como *hedging* (proteção contra riscos).

O investidor do mercado de ativos não-financeiros busca, analogamente ao de ativos financeiros, a maneira de se obter o maior retorno com o menor risco possível. Analisando-se este método especificamente para o mercado de energia, a seleção de portfólio de uma geradora irá considerar qual a melhor divisão do total de energia disponível para os diferentes clientes em potencial. Utilizando-se um método de Algoritmo Genético Multiobjetivo, aliado

às ferramentas de *Value-at-Risk* e *Conditional Value-at-Risk*, é possível encontrar uma fronteira eficiente de portfólio de ativos não financeiros, permitindo que as geradoras definam qual seu portfólio de energia elétrica. O que torna possível a adaptação e aplicação deste método para diferentes tipos de portfólios não financeiros.

4.2 MÉTRICAS DE RETORNO E RISCO

A medição de risco em um portfólio de ativos não financeiros, aplicada neste caso para o Mercado de Eletricidade, será equivalente a de ativos financeiros, utilizando-se também das abordagens de *Value-at-Risk* (VaR) e *Conditional Value-at-Risk* (CVaR) para mensuração de riscos. No entanto, as variáveis de definição estratégica a serem consideradas são diferentes. Segundo Oliveira (2009), tendo-se em vista o mercado brasileiro, no qual existem diferentes possibilidades de contratação e um mercado de *spot*, as principais variáveis são: custo de capital da empresa produtora de energia, lista de contratos bilaterais candidatos, valores futuros para o preço *spot* da energia e os valores futuros para o despacho da geradora de energia.

5 APLICAÇÃO

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O comércio de energia elétrica no Brasil se dá pela compra e venda de determinados ativos, denominados contratos. Existem no mercado atual cinco tipos destes contratos: CCVEs, *Collars*, *Swaps*, de Opção e Derivativos. No entanto, estes três últimos contratos não serão considerados para a realização das simulações de otimização deste trabalho, devido aos contratos de *Swaps* e de Opção serem contratos financeiros e, portanto, não serem de interesse para a análise não-financeira deste trabalho. Enquanto que os contratos Derivativos apresentam ainda uma pequena utilização no mercado.

Segundo Tonelli (2006), Contratos de Compra e Venda de Energia Elétrica (CCVEs) são instrumentos jurídicos que oficializam uma relação comercial de compra e venda de energia elétrica. Nele são especificados os montantes, prazos, flexibilidades, preços e demais condições comerciais.

Contratos do tipo *Collar* são semelhantes aos CCVEs, tendo como diferença simplesmente a maneira como é estabelecido o preço de venda. O preço do *Collar* é definido

segundo a seguinte equação: $P = \text{MIN}(\text{cap}; \text{MAX}(\text{PLD} \cdot (1+x); \text{floor}))$, onde *cap* e *floor*, referem-se respectivamente aos limites de preço máximo e mínimo do Preço de Liquidação das Diferenças (PLD) e “x” é a margem aplicada em cima deste preço.

O Preço de Liquidação das Diferenças é calculado semanalmente pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), levando-se em consideração informações previstas de disponibilidade de geração e carga para a semana seguinte. Esta ferramenta é utilizada para valorar a energia comercializada no mercado de curto prazo, fornecendo-se uma referência para as Concessionárias de Energia Elétrica.

Optou-se pelo método CVaR, pois embora o *VaR* forneça as informações a respeito da perda que um portfólio está sujeito, em um determinado nível de significância e para um determinado intervalo de tempo, esta métrica não informa a magnitude desta perda, quando o *VaR* é excedido. A partir da métrica *VaR* foi determinada a métrica *Conditional Value at Risk*, que informa a perda média considerando todos os momentos em que o retorno é inferior ao *VaR*. Desta forma, se mede a profundidade da perda e não apenas o valor na condição limite.

5.2 COLETA DE DADOS

A obtenção dos dados de uma carteira de contratos de uma concessionária de energia elétrica seria algo de difícil obtenção, por conter dados estratégicos de investimentos da empresa. Portanto, para a simulação de caso utilizou-se uma carteira fictícia com Contratos de Compra e Venda de Energia Elétrica e *Collars*. No entanto, para os valores de PLD utilizou-se as médias históricas mensais a partir de janeiro de 2012. Escolheu-se esta como data inicial, pois identifica-se que foi aproximadamente a partir dela que a situação atual de crise hídrica se iniciou, o que consequentemente afetou os valores de PLD, elevando-os muito acima da tendência natural histórica.

5.3 ELABORAÇÃO DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO

Para a elaboração do modelo de otimização, iniciou-se com a seguinte obtenção da tabela histórica de PLDs médios fornecidos pela CCEE:

Tabela 1 – Médias históricas de PLD

Mês	Submercado			
	SE/CO	S	NE	N
01/2015	388,48	388,48	388,48	388,48

Mês	Submercado			
	SE/CO	S	NE	N
12/2014	601,21	601,21	601,21	601,21
11/2014	804,54	804,54	804,54	804,54
10/2014	776,88	731,53	776,88	776,88
09/2014	728,95	728,95	728,95	728,95
08/2014	709,53	709,53	709,53	709,53
07/2014	592,54	503,10	592,54	592,54
06/2014	412,65	206,99	412,60	412,60
05/2014	806,97	806,97	772,21	334,59
04/2014	822,83	822,83	744,28	640,73
03/2014	822,83	822,83	756,37	696,21
02/2014	822,83	822,83	755,90	452,44
01/2014	378,22	378,22	379,35	364,80
12/2013	290,72	290,72	291,86	290,72
11/2013	331,07	331,07	331,07	331,07
10/2013	260,99	213,92	270,23	262,48
09/2013	266,16	248,36	269,10	269,10
08/2013	163,38	145,56	164,69	163,38
07/2013	121,29	102,59	121,61	121,35
06/2013	207,62	204,10	207,94	207,67
05/2013	344,84	344,84	344,94	344,84
04/2013	196,13	196,13	197,38	196,13
03/2013	339,75	339,75	339,84	339,40
02/2013	214,54	214,54	212,59	212,59
01/2013	413,95	413,95	409,76	409,76
12/2012	259,57	259,57	253,24	253,24
11/2012	375,54	375,54	375,54	375,54
10/2012	280,39	280,39	294,82	294,82
09/2012	182,94	182,94	183,30	183,30
08/2012	119,08	119,05	119,08	119,08
07/2012	91,24	91,24	91,24	91,24
06/2012	118,49	118,49	118,65	118,49
05/2012	180,94	180,94	180,37	180,37
04/2012	192,70	195,75	182,68	182,68
03/2012	124,97	124,97	109,12	109,12
02/2012	50,67	50,67	12,57	12,57
01/2012	23,14	23,14	12,92	12,92

(Fonte: <http://www.ccee.org.br/>)

Obtida esta tabela montou-se a seguinte tabela de contratos:

Tabela 2 – Simulação de Caso: Carteira de Compra e Venda de Energia Utilizada na Modelagem

Contratos	Preço	Fator x	Quantidade/mês	Sazonalização	Faixa de Preços
-----------	-------	---------	----------------	---------------	-----------------

				LI	LS	LI	LS
CCVE1	R\$ 750,00		10,00	8,80	11,20		
CCVE2	R\$ 800,00		10,00	8,50	11,50		
CCVE3	R\$ 1.050,00		20,00	18,00	22,00		
CCVE4	R\$ 825,00		20,00	16,00	24,00		
COLLAR1	R\$ 700,00	25%	30,00	30,00	30,00	500,00	700,00
COLLAR2	R\$ 750,00	30%	25,00	25,00	25,00	700,00	750,00
COLLAR3	R\$ 830,30	15%	40,00	36,00	44,00	800,00	1.000,00
COLLAR4	R\$ 820,00	35%	50,00	45,00	55,00	750,00	820,00
Total			205,00				
PLD	R\$ 722,00						

(Fonte: Próprio autor)

Para a obtenção destes valores de preços utilizou-se a Carteira de Compra e Venda de Tonelli (2006). No entanto, buscou-se atualizar seus valores aplicando-se a eles a mesma diferença percebida entre os valores de PLD de 2006 com os de 2014, obtendo-se assim os valores presentes na tabela acima.

A “Sazonalização” presente na tabela anterior é relativa ao montante de energia obtida, refere-se aos limites de quantidade/mês que podem ser considerados a partir do mês em questão e da quantidade de chuva deste mês.

A partir da Tabela 1, aplicou-se os dados referentes às regiões Sudeste/Centro-Oeste (regiões de maior importância quanto a produção e distribuição de energia no Brasil) no software MINITAB. Este software de análise estatística é capaz de determinar para um conjunto de valores específicos uma distribuição padrão que melhor se encaixe aos dados apresentados. Os resultados do software MINITAB indicaram como distribuição padrão mais provável para a sequência de dados de PLDs, a curva de Lognormal. No entanto, identificou-se certa dificuldade nesta determinação para o conjunto de dados de PLD, visto que estes valores são avaliados por um órgão regulador, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), eles não apresentam constantemente uma tendência natural de mercado, podendo ser modificados segundo as necessidades e planos do Governo Federal.

A próxima etapa do processo de elaboração do modelo de otimização, consta da otimização em si dos dados, a qual utilizará a ferramenta de *Conditional Value-at-risk*. Foi visto que quando as incertezas são representadas de forma discreta de S cenários equiprováveis, a expressão do *CVaR* pode ser aproximada pela função $F(x, \nu)$, tal que:

$$F(x, \nu) = \nu + \frac{1}{(1-c)S} \sum_{s=1}^S (Z_s - \nu)^-$$

Sendo: $Z_s = f(x, w_s)$

No caso, se forem utilizados as variáveis auxiliares u_s , sendo $u_s = Z_s - v$, com s cenários, sendo $s=1, 2, \dots, S$ a minimização de $F(x, v)$ pode ser definida como:

$$\begin{aligned} \underset{x, \alpha, u}{\text{Minimizar}} \quad & v + \frac{1}{(1-c)S} \sum_{s=1}^S u_s \\ \text{s.a.} \quad & \\ & u_s - Z_s + v \geq 0 \\ & u_s \geq 0 \\ \text{com} \quad & s = 1, \dots, S \end{aligned}$$

Se VP_{is} representa o Valor Presente do i -ésimo ativo candidato a compor o portfólio, para o cenário s , a perda do portfólio no cenário s é dada pela equação abaixo:

$$Z_s = - \sum_{i=1}^N x_i VP_{is}$$

Onde N é o número de ativos candidatos a compor o portfólio.

O problema de otimização de portfólio cuja função objetivo seja a minimização do $CvaR$ a um dado grau de confiança c %, sujeito ao atendimento a um dado valor esperado mínimo, pode ser escrito da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \underset{x, \alpha, u}{\text{Minimizar}} \quad & v + \frac{1}{(1-c)S} \sum_{s=1}^S u_s \\ \text{s.a.} \quad & \\ & u_s \geq 0 \\ & u_s \geq - \sum_{i=1}^{N_a} x_i VP_{is} - v \\ & \sum_{i=1}^N x_i \mu_i = \phi \\ & \sum_{i=1}^N x_i = 1 \\ & x_i \geq 0 \end{aligned}$$

Com: $s=1, 2, \dots, S$ e $n=1, 2, \dots, N$.

Sendo:

v - Variável que fornece o VaR do portfólio a grau de confiança c %;

c – Grau de confiança para o cálculo do VaR e do $CvaR$;

S – Número de cenários utilizados na representação das incertezas com relação aos retornos dos ativos candidatos a compor o portfólio;

u_s – Variável auxiliar para o cálculo do *CvaR*;

N_a – Número de ativos candidatos a compor o portfólio;

x_i – Fração do capital a ser aplicado no ativo candidato i ;

VP_{is} – Valor Presente do i -ésimo ativo candidato a compor o portfólio no cenário s ;

μ_i – Valor esperado dos retornos do i -ésimo ativo candidato a compor o portfólio;

Φ – Valor esperado dos retornos do portfólio (valor requerido pelo investidor).

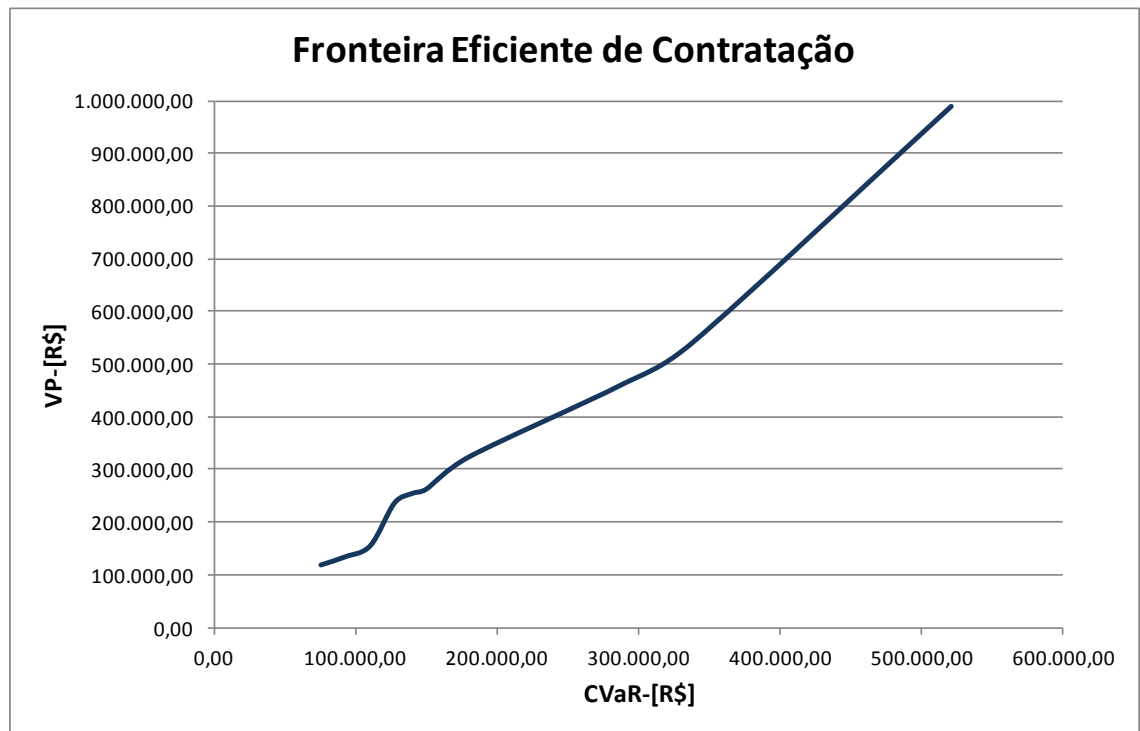
A função objetivo e os dois primeiros conjuntos de restrições modelam o *CvaR* do portfólio a grau de confiança $c\%$. A terceira restrição garante a obtenção do valor esperado requerido pelo investidor, a quarta garante o investimento total, e a quinta garante que não haja investimento negativo.

Verifica-se então que o *CvaR* pode ser eficientemente minimizado via técnicas de programação linear, o que permite o tratamento de portfólios com grande número de ativos financeiros, assim como incertezas representadas por um grande número de cenários.

Para a realização da otimização necessitou-se também do custo de capital do setor ajustado da base anual para mensal, obtido a partir da página virtual da CCEE (<http://www.ccee.org.br/>), a qual se encontra em 1,1% a.m.c.m.

Realizou-se a otimização e obtenção da fronteira eficiente com o auxílio da função OptQuest do software Crystall Ball Decision Optimizer, ferramenta para realização de simulações de Monte Carlo, previsão de séries temporais e otimizações para modelos e tabelas dentro do espaço do Microsoft Excel. Para a construção de uma fronteira eficiente, analisa-se o comportamento do *CvaR* e do retorno total da concessionária por meio de um gráfico de dispersão. Espera-se que com o crescimento do parâmetro de aversão ao risco, o risco do portfólio diminua bem como o retorno total. Abaixo encontra-se o gráfico de fronteira eficiente obtida a partir do software:

Figura 3: Gráfico da Fronteira Eficiente de Contratação



(Fonte: Próprio autor)

Tabela 3 – Valores arbitrários selecionados a partir do gráfico de Fronteira Eficiente

	VP	CVaR
1	117.180,53	75.813,76
2	132.846,20	93.187,56
3	154.231,44	110.807,67
4	234.835,40	127.687,35
5	253.323,66	140.432,12
6	261.314,62	150.184,54
7	322.651,07	180.330,75
8	459.246,70	287.450,34
9	538.874,90	337.450,10
10	988.753,95	520.237,00

(Fonte: Próprio autor)

Pode-se perceber que o modelo tem uma coerência muito grande, uma vez que preserva a noção de que a concessionária exige um retorno menor para um risco maior, o que já era esperado.

6 CONCLUSÕES

6.1 CONCLUSÕES

A proposta inicial deste trabalho era utilizar um método de seleção de portfólios capaz de otimizar a relação entre risco e retorno da carteira de ativos de uma concessionária de energia elétrica, com isso, definir estratégias operacionais e financeiras ótimas. Nessa carteira, foram consideradas apenas os ativos relevantes e que apresentavam características não financeiras.

Para a escolha de um modelo de seleção de portfólios que atenderia às necessidades do problema proposto optou-se pela utilização da Moderna Teoria do Portfólio. A partir disto, aprofundou-se a análise e identificaram-se as semelhanças e diferenças entre o problema proposto neste trabalho e os problemas financeiros geralmente resolvidos pela Moderna Teoria do Portfólio.

Uma das questões tratadas neste trabalho foi quanto ao método de medição que seria utilizada no cálculo do risco do portfólio resultante do modelo de otimização para seleção de portfólio. Optou-se, como já explicado anteriormente, pelo método CVaR, considerado mais consistente e confiável do que o VaR.

Com todos esses conceitos em mente, foi possível construir um modelo de seleção de portfólio capaz de encontrar o *mix* de contratos ideais para uma concessionária de energia elétrica. Desta maneira, propôs-se a construção de uma fronteira eficiente (risco vs. retorno) para um modelo variando-se o parâmetro de aversão ao risco, que reflete a propensão ao risco da concessionária, sendo que quanto maior for esta propensão, maior será a importância dada ao risco, em relação ao retorno. Disto, tem-se que a fronteira eficiente encontrada pelo modelo é semelhante àquela apresentada por Markowitz em seu estudo de risco e retorno, a qual indica que quanto maior a aversão ao risco do produtor, menor o risco da carteira resultante e menor seu retorno esperado. No entanto, como dito anteriormente, essa fronteira eficiente foi construída com base no CVaR, uma medida de risco coerente e que atende nossas necessidades de manipulação dos ativos da carteira. A fronteira proposta por Markowitz foi construída com base em outra medida de risco, a variância.

Empresas com diferentes propensões ao risco estarão situadas em diferentes pontos da fronteira eficiente. Para cada ponto da fronteira, há um *mix* de contratos diferente, ou seja, as estratégias operacionais e financeiras das concessionárias mudam de acordo com o risco que ela estará disposta a se expor. Quanto maior a propensão ao risco, maior a alocação pelo modelo de otimização em ativos de maiores retornos, independentemente do risco desses

ativos. Na medida em que se aumenta a aversão ao risco, maior importância é dada ao risco oferecido pelos ativos em que o modelo alocará recursos.

Finalmente, podem-se identificar duas contribuições claras deste trabalho. A primeira trata-se da criação de um modelo capaz de construir a fronteira eficiente para uma concessionária de energia elétrica, ou seja, um modelo capaz de definir o *mix* de contratos ideais para esta, de acordo com sua aversão ao risco. A segunda é a constatação de que é possível adaptar-se a Moderna Teoria do Portfólio, amplamente utilizada para ativos financeiros, em ativos não financeiros tais como o de mercado de energia elétrica. Ou seja, pode-se construir um portfólio ótimo de ativos para diferentes nichos de mercado e empresas. No entanto, é importante salientar que a definição de aversão ao risco é subjetiva e específica a cada empresa e mercado, podendo-se acarretar em uma escolha imprópria de estratégias de seleção de portfólio.

6.2 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

O modelo proposto neste trabalho considera apenas os períodos inicial e final (modelo uniperíodo). Ou seja, o produtor toma a decisão em um período inicial e o resultado disso será observado em um período final previamente determinado. Portanto, uma possível extensão deste trabalho seria a construção de um modelo capaz de considerar vários períodos futuros (modelo multiperíodo) no processo de otimização e, com isto, achar um modelo mais prático para as concessionárias de energia elétrica, as quais se deparam cotidianamente com tomadas de decisões envolvendo mais de um período futuro.

Outra sugestão futura é quanto ao fato deste trabalho considerar uma concessionária fictícia e, portanto, um cenário fictício e criado especificamente para este trabalho. Este fato não invalida o trabalho, pois buscou-se utilizar valores próximos ao que se acredita serem os de contratos atuais. No entanto, os resultados seriam ainda mais consistentes e confiáveis se tais valores fossem conseguidos a partir de uma empresa real, levando-se em conta as decisões por ela tomadas em períodos passados ou previsões futuras com todos seus instrumentos financeiros adotados.

7 REFERÊNCIAS

CHIARAWONGSE, A., KIATSUPAIBUL, S., TIRAPAT, S., Van ROY, B., ***Portfolio selection with qualitative input***. Journal of Banking and Finance, vol.36, pp.489-496, 2012.

GUIDOLIN, M., HIDE, S., ***Can VaR models capture regime shifts in asset returns? A long-horizon strategic asset allocation perspective***. Journal of Banking and Finance, vol.36, pp.695-716, 2012.

HUANG, D., ZHU, S., FABOZZI, F., FUKUSHIMA, M., ***Portfolio selection under distributional uncertainty: A relative robust CVaR approach***. European Journal Of Operational Research, Vol.203(1), pp.185-194, 2010.

HUANG X., ***Portfolio selection with a new definition of Risk***, European Journal of Operational Research, no. 186, pp.351-357, 2008.

JOAQUIM, G.P.G., MOURA, M.L., ***Performance and Persistence of Brazilian Hedge Funds during the Financial Crisis***. Revista Brasileira de Finanças, vol.9, no.4, pp.465-488, 2012.

KROKHMAL, P., PALMQUIST, J. and URYASEV, S., ***Portfolio Optimization with Conditional Value-at-Risk objective and constraints spot prices***. The Journal of Risk, vol. 4, no. 2, 2002.

OLIVEIRA, F. A., ***Estratégia de comercialização de energia elétrica através da otimização de portfólios de contratos utilizando projetos de experimentos de misturas***. Tese. UNIFEI - Universidade Federal de Itajubá. Itajubá/MG. 2009.

OLIVEIRA, F.A., PAIVA, P.P., LIMA, J.W.M., BALESTRASSI, P.P., ***Portfolio Optimization using mixture design of experiments: Scheduling trades within electricity markets***. Energy Economics, vol. 33, pp. 24-32, 2011.

PESARAN, B., PESARAN, M.H., ***Conditional volatility and correlations of weekly returns and the VaR analysis of 2008 stock market crash.*** Economic Modelling, vol.27, pp.1398-1416, 2010.

PEARSON, N. D., SMITHSON, C., ***VaR: the state of play.*** Review of Financial economics. vol.11, pp.175-189, 2002.

QUARANTA, A.G., ZAFFARONI, A., ***Robust Optimization of Conditional Value at Risk and portfolio selection.*** The Journal Bank Finance (2008), doi:10.1016/j.jbankfin.2007.12.025.

QUARANTA, A.G., ZAFFARONI, A., ***Robust Optimization of Conditional Value at Risk and portfolio selection.*** The Journal Bank Finance (2008), doi:10.1016/j.jbankfin.2007.12.025.

ROCKAFELLAR, R.T., URYASEV, S., ***Conditional Value at Risk for general loss distributions.*** Journal of Banking and Finance, no. 26, pp.1443-1471, 2002.

SAWIK, T., ***Selection of optimal countermeasure portfolio in it security planning.*** Decision Support Systems, Vol.55(1), pp.156-164, 2013.

SHARPE, W.F., ***A linear Programming approximation for the general portfolio analysis problem.*** Journal of Financial Quantitative Analysis, vol.6, no. 5, pp.1263-1275, 1971.

SZEGŐ G., ***Measures of Risk,*** European Journal of Operations Research, no. 163, pp.05-19, 2005.

TONELLI, A.V.P., ***Modelo computacional para gestão de riscos na comercialização de Energia Elétrica.*** Itajubá – MG: UNIFEI, 2006.

WANG, R., JINCHENG, S., YANG, F., *Combined bidding strategy and model for power suppliers based on CVaR risk measurement techniques*. Automatic Electric Power System, vol. 29, no. 14, pp.5-9, 2005.

YU, X., SUN, H., CHEN, G., *The Optimal portfolio Model based on Mean CVaR*. Journal of Mathematical Finance, vol.1, pp.132-134, 2011.