



**Ronaldo Esteves Borgerth Teixeira**

**Avaliação de um projeto de infraestrutura de  
postos de recarga para carro elétrico utilizando  
uma modelagem por opções reais**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Administração de Empresas da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Administração de Empresas.

Orientador: Prof. Leonardo Lima Gomes

Rio de Janeiro

Abril de 2017



**Ronaldo Esteves Borgerth Teixeira**

**Avaliação de um projeto de infraestrutura  
de postos de recarga para carro elétrico  
utilizando uma modelagem por opções  
reais**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Administração de Empresas do Departamento de Administração da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Leonardo Lima Gomes**

Orientador

Departamento de Administração – PUC-Rio

**Prof. Luiz Eduardo Teixeira Brandão**

Departamento de Administração - PUC-Rio

**Prof. Carlos de Lamare Bastian Pinto**

Grupo IBMEC

**Prof<sup>a</sup>. Mônica Herz**

Vice-Decana de Pós-Graduação do CCS – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 7 de abril de 2017

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

## **Ronaldo Borgerth**

Bacharel em economia pela PUC-Rio, Mestrando em administração de empresas pelo IAG PUC-Rio. Atua na área de Private Equity da Lorinvest Gestão de Recursos e é membro do Conselho de Administração da Ideiasnet, empresa aberta do Novo Mercado (IDNT3).

### Ficha catalográfica

Teixeira, Ronaldo Esteves Borgerth

Avaliação de um projeto de infraestrutura de postos de recarga para carro elétrico utilizando uma modelagem por opções reais / Ronaldo Esteves Borgerth Teixeira; orientador: Leonardo Lima Gomes. – 2017.

64 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Administração, 2017.

Inclui bibliografia

1. Administração – Teses. 2. Mobilidade Elétrica. 3. Opções Reais. 4. Carro Elétrico. 5. Avaliação econômico-financeira. 6. Disrupção. I. Gomes, Leonardo Lima. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Administração. III. Título.

CDD: 658

## Resumo

Teixeira, Ronaldo Esteves Borgerth; Gomes, Leonardo Lima (Orientador). **Avaliação de um projeto de infraestrutura de postos de recarga para carro elétrico utilizando uma modelagem por opções reais.** Rio de Janeiro, 2017. 64p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A venda mundial de carros elétricos vem crescendo cerca de 60% ao ano, mostrando-se um dos principais movimentos disruptivos na indústria nos próximos anos. Postos de Recarga são, em conjunto com a queda no preço das baterias, os principais indutores dessa expansão. A implantação de uma rede de infraestrutura para recarga de carros elétricos possui flexibilidades que não são captadas pela análise econômica tradicional. Nesse trabalho, foi avaliado um projeto de infraestrutura de postos de recarga utilizando uma modelagem por opções reais, tendo como foco opções de expansão da infraestrutura existente. Os resultados encontrados sugerem que dependendo da volatilidade da variável de incerteza, a modelagem do projeto por Opções Reais, agrega valor quando comparado com o método tradicional.

## Palavras-chave

Mobilidade Elétrica; Opções Reais; Carro Elétrico; Avaliação econômico-financeira; Disrupção.

## Abstract

Teixeira, Ronaldo Esteves Borgerth; Gomes, Leonardo Lima (Advisor). **Evaluation of EV charge infrastructure Project using Real Options Approach**. Rio de Janeiro, 2017. 64p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The worldwide sale of electric vehicles is growing about 60% a year, proving to be one of the major disruptive movements in the industry in the coming years. Charging stations are, together with the falling price of batteries, the main drivers of this expansion. The deployment of an infrastructure network to recharge electric vehicles has flexibilities that are not captured by the traditional economic analysis. In this work, an infrastructure project of charging stations was evaluated using a real option approach, focusing on options for expanding the existing infrastructure. The results suggest that depending on the volatility of the uncertainty variable, the project modeling by Real Options adds value to it when compared to the traditional method.

## Keywords

Electric Mobility; Real Options; EV; Economic-Financial Evaluation; Disrupted.

## Sumário

1. Introdução.....	10
1.1. Objetivo final.....	12
1.2. Objetivos Intermediários .....	12
1.3. Delimitação do estudo .....	12
1.4. Relevância do estudo .....	13
1.5. Estrutura da Dissertação. ....	13
2. Mobilidade Elétrica .....	14
2.1. Visão Geral do Setor .....	14
2.2. Infraestrutura de recarga.....	17
3. Avaliação Econômico-financeira e Teoria das Opções Reais .....	25
3.1. Taxa Livre de Risco.....	25
3.2. Avaliação por fluxo de caixa descontado e Valor Presente Líquido.....	25
3.3. Teoria de Opções Reais .....	27
4. Metodologia e Modelagem.....	31
4.1. Informações gerenciais sobre a implementação de postos de recarga.....	31
4.2. Modelo econômico Financeiro .....	31
4.3. Modelo de Opções Reais .....	32
4.3.1. Primeira Etapa .....	32
4.3.1.1. Marketed Asset Disclaimer .....	32
4.3.1.2. Fluxos de caixa futuros possuem flutuações aleatórias .....	33
4.3.2. Segunda Etapa .....	33
4.4. Modelagem .....	35
4.4.1. Estrutura.....	35
4.4.2. Premissas do Modelo.....	36
5. Análise dos Modelos e Resultados .....	41
5.1. Estrutura da Análise.....	41
5.1.1. Análise Tradicional .....	41
5.1.2. Resultados da Análise Tradicional .....	42
5.1.3. Análise por Opções Reais.....	42
5.1.3.1. 1º Cenário .....	44
5.1.3.2. 1º Cenário: Construção da Árvore Binomial do Projeto .....	45
5.1.3.3. 1º Cenário: Cálculo do Valor presente das opções de expansão e Resultado .....	47
5.1.3.4. 2º Cenário .....	50
5.1.3.5. 3º Cenário .....	51
5.1.3.6. 4º Cenário .....	52
5.1.3.7. 5º Cenário .....	53
5.1.3.8. 6º Cenário .....	54
5.1.3.9. 7º Cenário .....	55
5.1.3.10. 8º Cenário .....	56
5.1.3.11. 9º Cenário .....	57
5.1.3.12. Resumo de todas os Cenários .....	58

6. Conclusão.....	59
Referências Bibliograficas.....	61
Anexo 1 - DRE.....	63
Anexo 2 - Fluxo de Caixa.....	64

## Lista de figuras

Figura 1: Evolução do estoque global de carros elétricos no mundo, entre 2010 e 2015.	14
Figura 2: Custo do pacote de baterias de lítio ao longo do tempo.	15
Figura 3: Tipos de Carro elétrico disponíveis hoje no mercado.	16
Figura 4: Localização dos postos de recarga super-rápida da Tesla nos Estados Unidos.	19
Figura 5: Regiões atendidas pelos postos de recarga da ChargerPoint e o respectivo número de postos disponíveis.	19
Figura 6: Tipos de Postos de Recarga.	21
Figura 7: Localização dos Postos de Recarga em King County e o respectivo raio médio de autonomia para cada abastecimento.	23
Figura 8: Variáveis que afetam o valor de uma opção real.	28
Figura 9: Exemplo de árvore binomial.	29
Figura 10: Estrutura do Modelo Econômico-Financeiro.	36
Figura 11: 1º Cenário: Distribuição do VPL com opção.	45
Figura 12: Árvore Binomial em T=2.	46
Figura 13: Árvore Binomial em T=3.	47
Figura 14: Árvore Binomial Completa do Projeto.	47
Figura 15: Cálculo para a opção de expansão para o segundo ano.	48
Figura 16: Opção de Expansão para o 3º ano.	48
Figura 17: Opção de Expansão para o 4º ano.	49
Figura 18: Opção de Expansão para o 5º ano.	49
Figura 19: VPL do projeto com o uso de opções reais.	50
Figura 20: 2º Cenário: Distribuição do VPL com opção.	50
Figura 21: 3º Cenário: Distribuição do VPL com opção.	51
Figura 22: 4º Cenário: Distribuição do VPL com opção.	52
Figura 23: 5º Cenário: Distribuição do VPL com Opção.	53
Figura 24: 6º Cenário: Distribuição do VPL com Opção.	54
Figura 25: 7º Cenário: Distribuição do VPL com Opção.	55
Figura 26: 8º Cenário: Distribuição do VPL com Opção.	56
Figura 27: 9º Cenário: Distribuição do VPL com Opção.	57
Figura 28: VPL para cada cenário.	58

## Lista de tabelas

Tabela 1: Percentual de carros elétricos, postos de recarga rápida e de nível 2 no Estado de Washington.	23
Tabela 2: Parâmetros Definidos para a Construção da Árvore Binomial.	46
Tabela 3: Resumo do Valor das Opções.	49
Tabela 4: 2º Cenário: Resumo do Valor das Opções.	51
Tabela 5: 3º Cenário: Resumo do Valor das Opções.	52
Tabela 6: 4º Cenário: Resumo do Valor das Opções.	53
Tabela 7: 5º Cenário: Resumo do Valor das Opções.	54
Tabela 8: 6º Cenário: Resumo do Valor das Opções.	55
Tabela 9: 7º Cenário: Resumo do Valor das Opções.	56
Tabela 10: 8º Cenário: Resumo do Valor das Opções.	57
Tabela 11: 9º Cenário: Resumo do valor das opções.	58

## Introdução

A idade da pedra não acabou por falta de pedras. Essa afirmação, um tanto comum, esconde dentro de sua lógica simples e pragmática, o *driver* dos próximos movimentos disruptivos que o mundo irá sofrer nas próximas décadas. Uma revolução, ainda silenciosa no Brasil, está se formando em diversas partes do mundo: A Era do petróleo está chegando ao fim não pela escassez, conforme muitos acreditam, mas por estar cedendo o seu lugar para as energias renováveis.

De acordo com estudos conduzidos em 2015 pelo Bloomberg New Energy Finance<sup>1</sup> “BNEF”, em 2040 a produção mundial de energia virá 58% de fontes renováveis com zero emissão de carbono. Hoje a energia produzida por combustíveis fósseis é superior a 2/3 do total. Nos próximos 25 anos, são estimados gastos de US\$ 8,13 trilhões em fontes renováveis, ao passo que os investimentos em combustíveis fósseis não devem ultrapassar os US\$ 4,07 trilhões. A energia fotovoltaica será a principal indutora desse movimento disruptivo, conforme o custo de sua produção for convergindo para o das fontes fósseis. Recentemente um distrito inteiro do Brooklyn chamado Red Hook, começou um projeto para se desligar totalmente do *grid* e passar a operar através de uma rede capilarizada de minicentrals fotoelétricas e eólicas ligadas a baterias<sup>2</sup>. Esse modelo de geração fotoelétrica capilarizada e sem grandes investimentos em distribuição e transmissão será o principal método de crescimento da oferta de energia solar nos próximos anos. Além da redução no custo de produção dos painéis, a não necessidade de investimentos em linhas de transmissão e distribuição será uma alavanca para a disseminação da energia solar.

Corroborando com a tendência de mudança da matriz energética nos próximos anos, os EUA e Brasil assinaram um acordo em junho do ano passado para atingirem a meta de, em 15 anos, possuírem 20% de fontes renováveis (excluída a geração hidrelétrica) na matriz energética<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> BNEF. June 2015.

<sup>2</sup> Bloomberg News, 10/08/2016.

<sup>3</sup> O Globo, 28/07/2016.

Essa revolução não se dará somente na matriz de produção energética, mas na indústria como um todo. Uma das indústrias que será mais afetada por todo esse movimento será a automobilística com a evolução da tecnologia de motores e baterias elétricas. Os custos de produção de baterias vêm caindo a cada ano e hoje representam 1/3 do custo total de um carro elétrico do modelo Leaf da Nissan. Em 2015 a queda foi de 35% em comparação com 2014. Diversos estudos apontam que em 6 anos a tecnologia será tão competitiva quanto a dos carros movidos a combustíveis fósseis<sup>4</sup>.

Os mercados, de uma maneira geral, ainda não estão preparados para essa revolução. Carros elétricos ainda são raros, perfazendo menos de 1% da frota mundial atual. Não obstante, a Organização dos Países Exportadores de Petróleo “OPEP” estima que em 2040, 96% dos carros ainda estarão utilizando combustíveis fósseis<sup>5</sup>. Na contramão das estimativas da OPEP, diversas montadoras de automóveis já começam a se preparar para essa revolução, estando a TESLA na vanguarda desse movimento. Nos próximos 5 anos, TESLA, Chevy e Nissan planejam colocar no mercado carros elétricos de longa autonomia por US\$ 30 mil dólares<sup>5</sup>.

Embora o mercado brasileiro ainda permaneça apático em relação a esse movimento disruptivo, tanto em relação à indústria quanto em relação ao meio acadêmico, uma iniciativa recente da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro pode mudar esse rumo e fomentar novos investimentos em prol do carro elétrico: Foi publicado o edital para uma Parceria Público Privada “PPP” para a concessão de espaço público para a implantação, manutenção e operação do sistema de compartilhamento de veículos elétrico na cidade do Rio de Janeiro. Inicialmente serão 100 carros disponíveis para transitar entre a zona sul e a Barra da Tijuca, mas o objetivo final da Prefeitura é disponibilizar 1000 veículos. A PPP inclui a disponibilização de toda a infraestrutura para atender a essa frota, inclusive a instalação de 50 pontos de recarga.

Tradicionalmente, a implementação de novos projetos, como uma rede de postos de recarga, teria sua viabilidade econômico-financeira testada somente pelo método do fluxo de caixa descontado. Apesar dessa metodologia ser uma das mais difundidas tanto no meio acadêmico quanto o profissional, o seu uso pode ser

---

<sup>4</sup> Bloomberg News, 25/02/2016.

<sup>5</sup> CNN, 23/12/2015.

complementado ao se somar a análise de opções reais. Nesse contexto esse trabalho se propõem a avaliar um projeto de infraestrutura de postos de recarga utilizando uma modelagem por opções reais, comparando os resultados com uma avaliação econômico-financeira tradicional.

Na literatura, não foram encontrados estudos que tinham como objeto o uso de opções reais na modelagem de um projeto de infraestrutura de postos de recarga.

## **1.1**

### **Objetivo final**

O objetivo desse trabalho é avaliar um projeto de infraestrutura de postos de recarga utilizando uma modelagem por opções reais, comparando os resultados com uma avaliação econômico-financeira tradicional.

## **1.2**

### **Objetivos Intermediários**

- ✓ Fomentar a discussão entorno do movimento disruptivo que vem ocorrendo no mundo em relação à matriz energética e a possível disseminação do carro elétrico;
- ✓ Propor uma nova abordagem de como o método de opções reais podem agregar valor a esse tipo de projeto.

## **1.3**

### **Delimitação do estudo**

Não será o foco desse estudo estimar a viabilidade econômica financeira da produção nacional do carro elétrico. Do mesmo modo, questões técnicas, também não serão objeto de estudos.

## 1.4

### Relevância do estudo

A venda mundial de carros elétricos vem crescendo cerca de 60% ao ano. Um crescimento expressivo, demonstrando o seu alto potencial. Esse movimento deve representar um dos maiores eventos disruptivos na indústria nas próximas duas décadas. Frente ao grande potencial dessa tecnologia, uma rede robusta de postos de recarga terá que ser instalada para viabilizar a utilização do carro elétrico. Dessa forma, esse estudo irá demonstrar se o uso de opções reais agrega valor de forma a melhorar a viabilidade econômico-financeira de um projeto de implementação e operação de uma infraestrutura de postos de recarga.

## 1.5

### Estrutura da Dissertação

- Esse estudo está dividido do seguinte modo: Na introdução é apresentada a contextualização do objeto de estudo, seus objetivos finais e intermediários, delimitações e relevância. No capítulo sobre mobilidade elétrica é apresentada uma visão geral do setor e as principais características dos carros elétricos e dos postos de recarga. No capítulo de avaliação econômico-financeira e teoria das opções reais é apresentado o referencial teórico e uma breve revisão da literatura da Teoria das Opções Reais. No capítulo de metodologia e modelagem são apresentadas as principais informações das premissas do modelo e sua elaboração, incluindo a metodologia utilizada. No capítulo de análise dos modelos e resultados, são apresentados a estrutura de análise utilizada e os resultados gerados. Além dos capítulos citados, esse estudo conta com uma seção de conclusão, referências bibliográficas e dois anexos contendo a Demonstração do Resultado do Exercício do modelo e seu Fluxo de Caixa.

## 2

### Mobilidade Elétrica

#### 2.1

##### Visão Geral do Setor

Apesar da presença ainda tímida no Brasil e em outros países da América do Sul, os carros elétricos já possuem grande presença nos Estados Unidos, China, Japão e União Europeia. Em 2015, o estoque de carros elétricos ultrapassou a marca de 1 milhão de unidades, fechando o ano com cerca de 1,26 milhão de unidades em circulação em todo o mundo. Somente de 2014 a 2015 a frota quase dobrou, demonstrando o ritmo acelerado de expansão desse meio de locomoção.

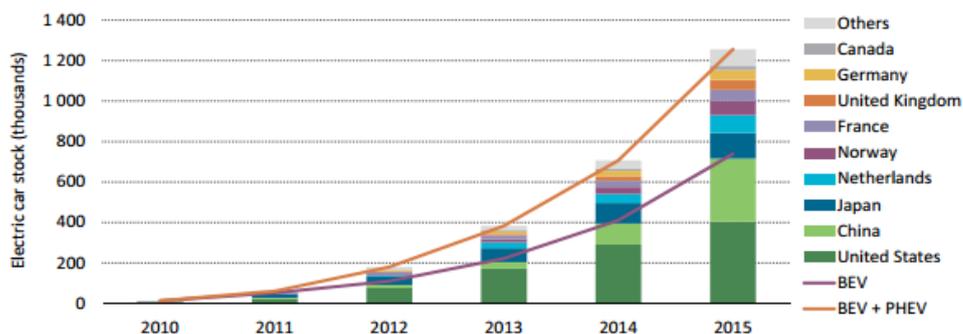


Figura 1: Evolução do estoque global de carros elétricos no mundo, entre 2010 e 2015.  
Fonte: Global EV Outlook, 2016.

Na Noruega os carros elétricos já representam 23% do mercado de veículos, sendo que os EUA possuem o maior número de carro em números absolutos, chegando em 404 mil veículos<sup>6</sup>.

Os principais drivers para esse crescimento acelerado são a maior disponibilidade de infraestrutura para a recarga dos carros e a queda no seu preço de venda, que é consequência quase que direta da queda constante no custo de fabricação do pacote de baterias.

---

<sup>6</sup> Global EV Outlook, 2016.

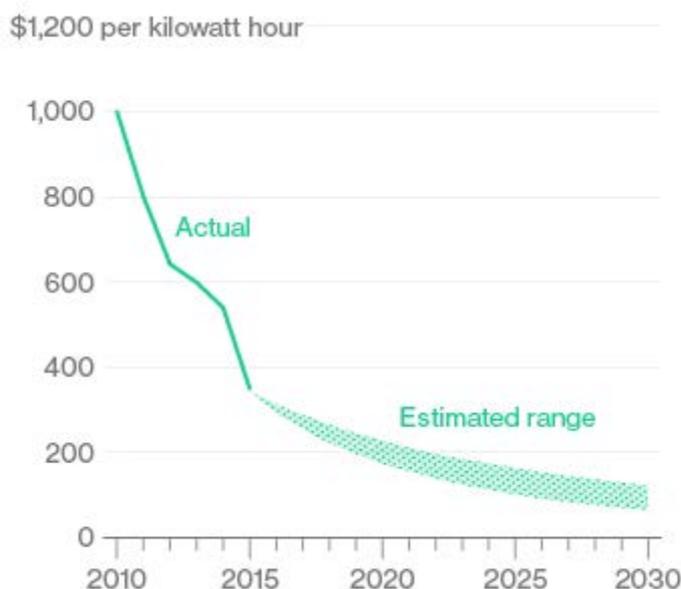


Figura 2: Custo do pacote de baterias de lítio ao longo do tempo.  
Fonte: Bloomberg New Energy Finance, 25/02/2016.

Conforme pode ser verificado no gráfico acima, o custo das baterias caiu de forma drástica nos últimos 6 anos. Somente entre 2014 e 2015 houve uma queda de 35% no custo de produção de baterias. A BNEF<sup>7</sup> estima que já em 2020, os carros elétricos serão uma opção mais econômica que modelos similares a combustão, na maioria dos países. Ainda segundo a BNEF<sup>7</sup>, em 2040, 35% de toda a venda de carros no mundo será de veículos elétricos, chegando no patamar de 41 milhões de unidades anuais, contrastando com os parques 1% atuais.

Segundo a C2ES<sup>8</sup>, atualmente, existem no mercado cerca de 3 tipos de carros elétricos:

- **BEV (*Battery Electric Vehicle*):** É o carro elétrico na sua essência. Não possui motor a combustão, somente o pacote de baterias que pode ser recarregado. Possuem pelo menos, em média, 160 km de autonomia com uma única recarga. São totalmente dependentes de postos de recarga.

<sup>7</sup><https://about.bnef.com/press-releases/electric-vehicles-to-be-35-of-global-new-car-sales-by-2040/>. 11/10/2016.

<sup>8</sup>NIGRO, Nick; FRADES, Matt, 2015.

- **EREV (Extended Range Electric Vehicle):** É um carro elétrico que possui um pequeno motor a combustão que pode recarregar o pacote de baterias caso necessário. Possuem a mesma autonomia que os BEV, sendo que possuem uma dependência menor de postos de recarga por terem um pequeno motor a combustão como *backup*.
- **PHEV (Hybrid Vehicle):** Carro híbrido tradicional que possui um motor a combustão e um pacote de baterias que pode, também, ser recarregado em postos de recarga. Em média, possuem menos de 64 km de autonomia no modo elétrico.

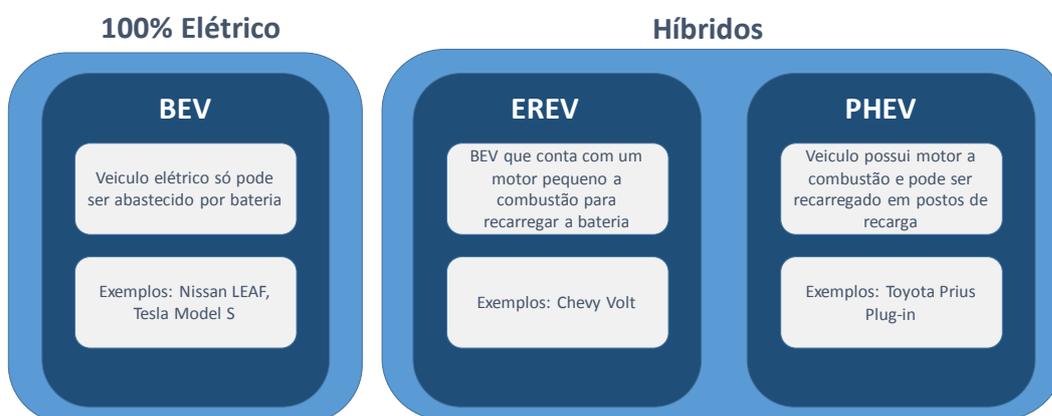


Figura 3: Tipos de Carro elétrico disponíveis hoje no mercado.  
Fonte: NIGRO, Nick; FRADES, Matt, 2015.

O carro elétrico possui outras vantagens além da já reconhecida redução na produção de CO<sub>2</sub> pela substituição de carros movidos a combustão:

*“Electric vehicles reduce the related costs per kilometre travelled (€/km) due to both the cost of electricity compared to fossil fuels and vehicle maintenance. Furthermore, in regard to environmental protection, the electric car is a powerful tool that would enable controlling CO<sub>2</sub> emissions and other pollutants produced by transport activity. Furthermore, the noise pollution produced by noisy combustion engines is also an important factor. In addition, electric cars would allow storing electrical energy when there is no demand, allowing stable production and reducing surplus in the electrical grid. These electrical energy surpluses usually occur at night and when the production from renewable energy sources (mainly wind) peaks in production. Electric vehicles can be used for discharging energy stored into the grid and can therefore control the surpluses that occur in specific times or situations.” (MARTINEZ-LAO, 2016).*

Em especial a possibilidade de se abastecer energia nos períodos de pico não só da produção de energia eólica como de energia solar pode se tornar uma opção a ser considerada pelo usuário do carro elétrico, já que pode vir a baratear o seu gasto com reabastecimento. A possibilidade de se usar o carro elétrico como uma bateria para regularizar as ofertas da rede elétrica, também é defendida por J. Mullan et al. (2012).

## 2.2

### Infraestrutura de recarga

Outro fator importante na disseminação do carro elétrico é a infraestrutura de recarga. Os postos de recarga são uma peça fundamental, já que o principal limitante desse tipo de veículo é a sua autonomia:

*“So far one of the greatest limitations attributed to the electric vehicle is its lack of autonomy compared to internal combustion vehicles. A significant penetration of electric vehicles in the market is possible only if their use is compatible with mobility patterns of individuals.” (MARTINEZ-LAO, 2016).*

A correlação entre o número de postos de recarga e o benefício da utilização do carro elétrico é positiva, em suma, por três fatores:

- **Alcance do carro:** Quanto mais postos de recarga estão disponíveis, maior é o alcance do carro. No limite, com estações de recarga espalhadas em todas as localidades, o alcance se torna infinito, tal como ocorre hoje com os carros movidos a combustão;
- **Comodidade:** Conforme o número de estações aumenta, fica mais fácil para o usuário achar um posto para a recarga, sem ter que ficar preocupado em encontrar algum posto perto; e
- **Segurança:** O usuário não precisa se preocupar se na rota pretendida será atendido ou não por uma estação de recarga, eliminando a possibilidade de ficar sem energia na bateria.

Sem uma estrutura capilarizada de postos de recarga, o benefício do usuário do carro elétrico cai drasticamente: *“Another fundamental challenge in developing the EV markets is concerned with the charging infrastructure, which provides adequacy, flexibility, and convenience in energy supply to EV consumers.”* (HADDADIAN, 2015). Essa visão também é compartilhada pela Eurelectric (Associação da Indústria do Setor Elétrico Europeu):

*“The limited availability of charging infrastructure, including a lack of adequate business and financing models, is considered to be one of the biggest obstacles to the widespread adoption of EVs by customers, many of whom still suffer from ‘range anxiety’.”* (EURELECTRIC, 2016).

Além disso, um estudo conduzido no mercado japonês defende que o chamado *willingness to pay* (WTP) pelo carro elétrico aumenta, conforme o aumento na infraestrutura de recarga:

*“Investment in infrastructure directly and indirectly increases benefits in the following two ways. The first is the utility from the infrastructure itself. Since infrastructure is a public good, AFV (alternative fuel vehicles) users can derive benefits from its use. The second is the indirect effect that the establishment of infrastructure increases the vehicles’ cruising ranges. Therefore, the WTP (willingness to pay) for cruising ranges changes according to the extent of infrastructural establishment.”* (ITO; TAKEUCHI and MANAGI, 2013).

Diversas empresas no exterior estão investindo em uma ampla rede de postos de recarga. A Tesla, fabricante de carros elétricos, já construiu 624 postos de recarga super-rápida<sup>9</sup>, localizados nas principais rodovias dos Estados Unidos.

---

<sup>9</sup> teslamotors.com/supercharger, 11/11/2016.

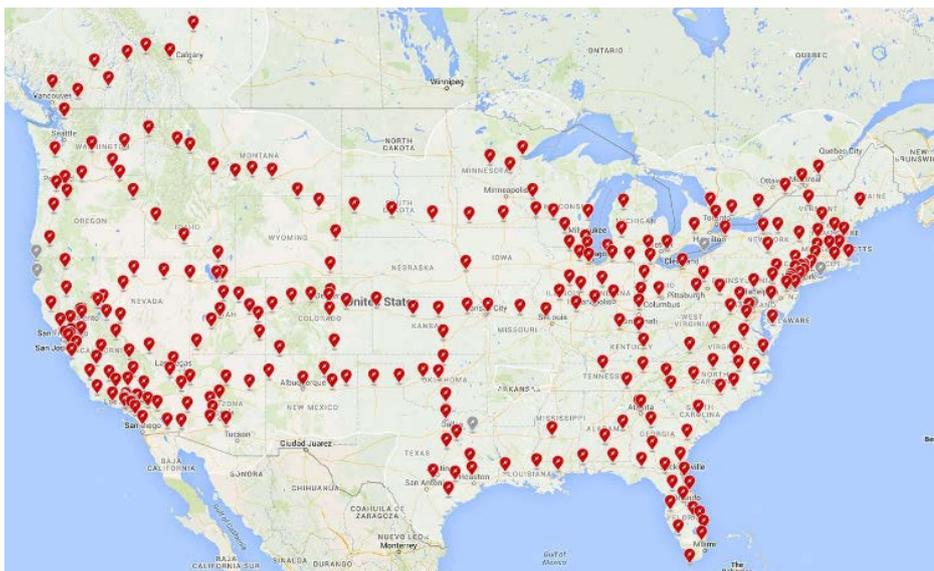


Figura 4: Localização dos postos de recarga super-rápida da Tesla nos Estados Unidos.  
Fonte: teslamotors.com/supercharger.

A ChargerPoint, com foco somente no fornecimento de postos de recarga, já implementou nos Estados Unidos mais de 32 mil pontos de recarga.



Figura 5: Regiões atendidas pelos postos de recarga da ChargerPoint e o respectivo número de postos disponíveis.  
Fonte: na.chargepoint.com/charge\_point.

Na ótica das empresas de carro elétrico e de fornecimento de postos de recarga, o aumento do benefício do uso do carro elétrico proporcionado pela implementação de postos de recarga gera para elas um possível aumento na demanda, tanto pela venda de carros, quanto pelo maior giro nos postos de recarga.

Apesar de o fornecimento de postos de recarga proprietário por parte da montadora do veículo ser um indutor no curto prazo para aumentar a base de usuários de seus veículos, esse não é um modelo racional de *business* para o longo prazo. Postos de recarga possuem uma certa similaridade com o modelo de monopólio natural, por possuírem economia de escala e escopo. A implementação da rede de postos de recarga requer um dispêndio alto de capex, ao passo que sua manutenção é extremamente baixa e seu lucro aumenta exponencialmente conforme a quantidade de usuários aumenta:

*“Os setores que são muito intensivos em capital, requerendo enormes quantidades de investimento na fase inicial, são caracterizados como economias de escopo e de escala. Nesse cenário o custo médio da firma é maior que seu custo marginal. A enorme quantidade de investimento no momento inicial se traduz em elevados custos fixos. O setor de distribuição é o exemplo perfeito desse tipo de economia, onde é necessário realizar pesados investimentos antes de a rede começar a operar. Fica claro que não é eficiente que se instale nas ruas quatro postes de energia (...) Nesses casos, teríamos uma redundância, elevando os custos das empresas. A distribuição se torna otimizada quando se tem o uso compartilhado das redes.” (BORGERTH, 2011).*

É economicamente ineficiente que cada montadora de carro forneça o seu próprio posto de recarga. Teríamos numa mesma localidade pelo menos uma dezena de estruturas com postos de recarga, cada uma pertencendo a uma montadora. A própria Tesla, que hoje só permite que seus modelos sejam recarregados em seus postos de recarga rápida, já abriu a possibilidade de outros carros poderem ser recarregados<sup>10</sup>.

O caminho mais eficiente, então, é cada localidade possuir alguns ou somente um player de fornecimento de postos de recarga como a ChargerPoint. Como a distribuição dos postos vai se tornando ao longo do tempo, altamente capilarizada, não existe o risco de monopólio por uma única empresa, já que em um mesmo bairro ou mesmo rua, poderão existir diversas localidades para a implementação dos postos de recarga por diferentes players.

Em relação ao modelo de posto de recarga o mercado conta, hoje, com 3 tipos:

---

<sup>10</sup> CleanTechnica, 27/09/2015.

Posto de Nível 1 AC-120V	Posto de Nível 2 AC-240V	Posto de Recarga Rápida Corrente Direta
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliza tomada padrão;</li> <li>• Mesma demanda elétrica que uma torradeira;</li> <li>• Oferta até 1,5 KW;</li> <li>• Usado basicamente nas residências;</li> <li>• Custo de instalação extremamente baixo;</li> <li>• Recarrega totalmente um Nissan LEAF em 17 horas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessita de um circuito elétrico de alta voltagem;</li> <li>• Mesma demanda elétrica que uma secadora de roupa;</li> <li>• Oferta até 19,2 KW;</li> <li>• Instalação varia de R\$ 7 mil para residências, até R\$ 22 mil para espaços públicos.</li> <li>• Recarrega totalmente um Nissan LEAF entre 3,5 a 7 horas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessita de circuito elétrico de alta voltagem e de 3 fases;</li> <li>• Mesma demanda elétrica que 15 casas;</li> <li>• Oferta até 90 KW;</li> <li>• Custo de instalação de R\$ 300 mil;</li> <li>• Recarrega 80% de um Nissan LEAF em menos de 30 minutos.</li> </ul>

Figura 6: Tipos de Postos de Recarga.  
Fonte: NIGRO, Nick; FRADES, Matt, 2015.

Conforme a tabela acima, quanto maior a potência do posto de recarga, maior é o seu custo e mais rápida é a recarga do pacote de baterias. Dessa forma, cada tipo de posto atende a um determinado tipo de usuário. Os postos de nível 2 e de recarga rápida, desempenham um papel primordial ao proverem a infraestrutura pública para a frota de carros elétricos e por serem complementares.

Os postos de nível 2 são usados para proverem a recarga nos conglomerados urbanos. Por demorarem pelo menos 3,5 horas para proverem uma carga completa no carro, são colocados em estabelecimentos onde o carro costuma ficar por pelo menos 1 hora parado. Ficam localizados em lojas de conveniências, shoppings, supermercados, restaurantes, dentre outros estabelecimentos. Os postos de recarga rápida, por terem como principal característica a velocidade na recarga da bateria, ficam localizados em rodovias. Usualmente os motoristas não gostam de ficar mais de 30 minutos parados durante uma viagem, dessa forma o posto de recarga atende de maneira plena a necessidade dos usuários de carro elétrico em viagem, ao recarregarem 80% do pacote de baterias em menos de 30 minutos. Ficam usualmente localizados em postos de combustível. Dessa forma, o posto de recarga rápida fornece energia para as viagens entre os conglomerados urbanos e os postos de nível de 2 a energia dentro desses conglomerados.

Os postos de nível 1, usualmente ficam localizados nas residências, onde os usuários deixam o carro carregando durante a noite.

De acordo com o C2ES<sup>11</sup> todos os modelos de carro elétrico possuem compatibilidade com os postos de recarga de nível 2, já que eles possuem um conector padrão o SAE J1772. Para os postos de recarga de nível 1, os diferentes modelos de carros elétricos vêm com adaptador. Já os postos de recarga rápida, possuem 3 modelos de conectores distintos, devido à alta competitividade tecnológica entre as principais fabricantes.

- **CHAdEMO:** Desenvolvido pela associação de empresas automobilísticas japonesas. É o conector mais usual para recarga rápida entre os modelos disponíveis no mercado;
- **SAE J1772:** É um conector combo, que utiliza a mesma entrada para recarga do posto de nível 2. Ainda é pouco explorado pelo mercado. Foi desenvolvido pela SAE (*Society of Automotive Engineers*);
- **Tesla:** Tecnologia proprietária da Tesla usada em todos os veículos de sua linha. Não pode ser usado por nenhum outro modelo.

Ainda de acordo com o C2ES<sup>11</sup>, usualmente para cada 1 KWh de energia entregue para o pacote de baterias, o carro elétrico consegue viajar por 5,6 km.

Uma pesquisa feita pela C2ES<sup>10</sup> em 5 condados que concentram 88% dos veículos elétricos puros (BEVs) do estado de Washington demonstra a relação entre os postos de recarga e o número de BEVs em cada condado:

---

<sup>11</sup> NIGRO, Nick; FRADES, Matt, 2015.

Tabela 1: Percentual de carros elétricos, postos de recarga rápida e de nível 2 no Estado de Washington.

Condado	Carros Elétricos Puros BEVs (%)	Posto de Recarga Rápida	Posto de Recarga Nível 2
Clark	5%	3%	3%
King	61%	43%	60%
Kitsap	5%	5%	3%
Pierce	7%	5%	11%
Snohomish	10%	8%	8%
Total	88%	64%	85%

Fonte: NIGRO, Nick; FRADES, Matt. 2015. Washington State Department of Licensing, 2013.

De acordo com a tabela acima, o Condado de King contém cerca de 60% dos postos de recarga de nível 2, 43% dos postos de recarga rápida e 61% da frota de carros elétricos do estado, embora possua somente 29% da população total do estado. Esse é mais um indício mostrando que o aumento no número de postos de recarga aumenta a utilidade proporcionada pelo carro elétrico e conseqüentemente a intenção de compra por parte dos consumidores.

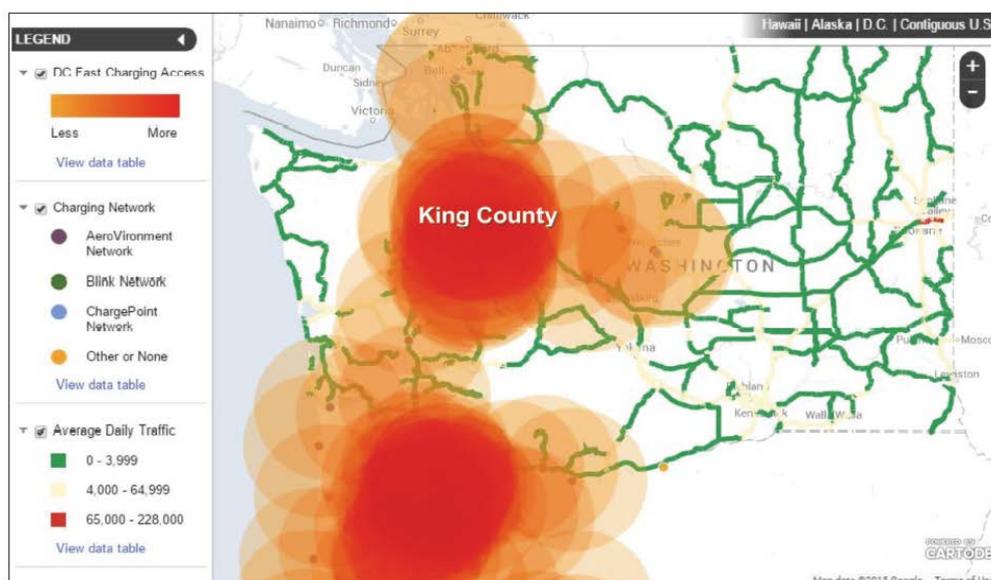


Figura 7: Localização dos Postos de Recarga em King County e o respectivo raio médio de autonomia para cada abastecimento.

Fonte: NIGRO, Nick; FRADES, Matt, 2015.

A figura 7 mostra a localização dos postos de recarga no condado de King. Quanto maior a sobreposição dos círculos, maior a concentração de postos de

recarga em uma mesma localidade. O diâmetro dos círculos é o raio médio de autonomia de um carro que abasteça em determinado posto.

Segundo o National Research Council<sup>12</sup> e o C2ES<sup>13</sup>, é necessário 1 posto de recarga de nível 2, para cada 2,5 veículos elétricos, dessa forma os postos conseguem atender a demanda de forma satisfatória, sem grandes filas de espera e com uma capilaridade razoável.

---

<sup>12</sup> National Research Council, 2013.

<sup>13</sup> NIGRO, Nick; FRADES, Matt, 2015.

## 3

# Avaliação Econômico-financeira e Teoria das Opções Reais

### 3.1

#### Taxa Livre de Risco

A taxa livre de risco é aquela onde o investidor não possui incertezas em relação ao risco de inadimplência e a incerteza a respeito das taxas de reinvestimento (Damodaran, 2004). Dessa forma, a taxa que mais se aproxima da livre de risco no Brasil é a taxa dos títulos públicos brasileiros. De forma a tirar o efeito da inflação sobre a taxa paga ao governo, será usada como taxa livre de risco o *spread* pago pelos títulos NTN-B pelo Governo Brasileiro com vencimento em 2020, atualmente em 6,5%, conforme informação do Tesouro Direto<sup>14</sup>.

### 3.2

#### Avaliação por fluxo de caixa descontado e Valor Presente Líquido

O Fluxo de caixa descontado é uma das metodologias mais difundidas no meio corporativo para a avaliação econômico-financeira de projetos (Brealey, Myers, & Allen, 2011), sendo largamente utilizada pelas maiores consultorias no mundo, incluindo a KPMG, EY, McKinsey e PWC. Também é defendida por Damodaran (2004) e Copeland e Antikarov (2001), como uma ferramenta essencial para a tomada de decisão sobre investimentos. Ainda segundo Brandão e Dyer (2005), o método é comumente utilizado na tomada de decisão de investimentos.

O valor presente líquido (VPL) é o valor presente do somatório de todos os fluxos de caixa livre futuros gerados pelo projeto, podendo se incluir ou não a perpetuidade. O fluxo de caixa livre é calculado subtraindo-se das receitas geradas pelo projeto os seguintes itens: impostos, custos, despesas, investimentos,

---

<sup>14</sup> [tesouro.fazenda.gov.br/tesouro-direto](http://tesouro.fazenda.gov.br/tesouro-direto), 03/09/2016.

variação no capital de giro, pagamento de juros, amortização e captação da dívida, dentre outros itens conforme a particularidade de cada projeto.

A taxa para desconto dos fluxos de caixa livre gerados pelo projeto é a taxa livre de risco, acrescida ou não de um *spread* de risco em relação ao projeto que está sendo avaliado.

O VPL pode ser calculado da seguinte forma:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FCt}{(1+i)^t} \quad (1)$$

Onde:

I = Investimentos iniciais demandados pelo projeto;

FCt = Fluxo de caixa livre no período t;

i = Taxa de desconto do projeto;

n = tempo de vida modelado do projeto.

A regra para a decisão de investimento sobre a ótica do VPL é simples: Se o VPL é maior ou igual a zero, o projeto deve ser feito. Caso o VPL seja menor que zero, o projeto deve ser descartado.

Embora a metodologia do Fluxo de caixa descontando seja amplamente divulgada e utilizada, esta possui uma grande limitação ao não incorporar a possibilidade de opções durante o ciclo de vida do projeto, ou seja, ela não leva em consideração nenhuma flexibilidade. Caso um projeto possua, por exemplo, uma opção de expansão, o possível valor dessa opção não é incorporado ao valor final do projeto por essa metodologia.

Dessa forma, a Teoria das Opções Reais (TOR), surgiu de forma a capturar o valor dessas flexibilidades nos projetos, conforme defendido por Copeland e Antikarov (2001) e Brandão e Dyer (2005).

### 3.4

#### Teoria de Opções Reais

Uma opção confere o direito a seu detentor de exercer ou não uma ação. Usualmente essa ação compreende os seguintes movimentos: postergar, expandir, contratar ou abandonar, segundo Copeland e Antikarov (2001).

A teoria das opções reais é derivada da teoria das opções financeiras. Existem dois tipos de opção financeira: *Call* e *Put*. Uma *call* confere ao seu detentor o direito de comprar alguma ação ao passo que uma *put* confere ao seu detentor o direito de vender uma ação para um terceiro. Quando um investidor detém uma opção de compra, dizemos que ele está “*long em call*”. Caso o investidor tenha vendido uma opção de compra dizemos que ele está “*short em call*”. As opções podem ser ainda do tipo europeia e americanas. Enquanto a opção americana dá ao seu detentor a possibilidade de exercer a opção a qualquer momento, a do tipo europeia só permite a execução da opção no último dia do contrato. Para que uma opção real possua valor, é necessário que três características estejam presentes:

**Flexibilidade:** O detentor da opção deve possuir a autonomia para tomar decisões da melhor forma possível.

**Incerteza:** O detentor da opção deve possuir incertezas em relação ao comportamento de uma ou diversas variáveis;

**Irreversibilidade:** Investimentos e desinvestimentos tem caráter irreversível.

Por sua vez, o valor de uma opção pode variar de acordo com 6 variáveis:

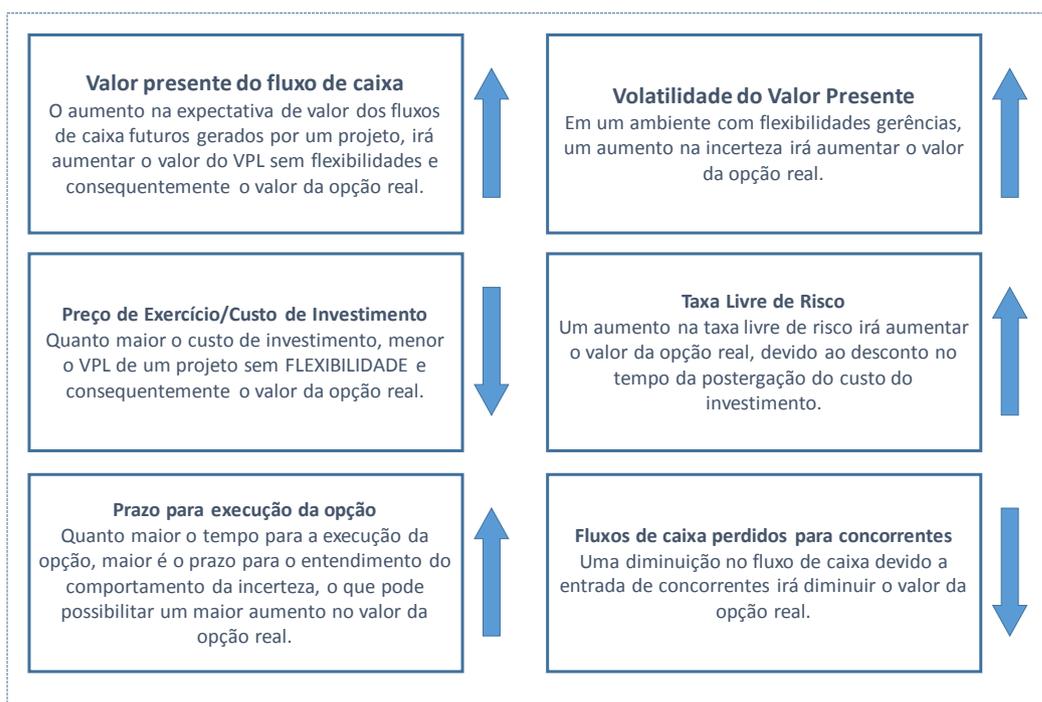


Figura 8: Variáveis que afetam o valor de uma opção real.  
Fonte: COPELAND, Tom; ANTIKAROV, Vladimir, 2001.

Segundo Copeland e Antikarov (2001), o grande marco na TOR, foi concebido por Robert Merton, Fischer Black e Myron Scholes no começo da década de 70 cujos estudos foram ganhadores de um prêmio Nobel, resultando no famoso modelo de Black, Scholes e Merton (BSM).

*“The modern breakthrough in valuation of options was made in the early 1970s by Robert Merton, Fischer Black and Myron Scholes, whose Nobel prize winning work solved a tough problem that had been a challenge since the early 1900s.”* (COPELAND and ANTIKAROV, 2001).

A premissa principal desse modelo é que a precificação da opção pode ser feita a partir do movimento estocástico do ativo seguindo um movimento geométrico browniano (MGB). Apesar de sua popularidade esse modelo é limitado a precificar opções do tipo europeia e é de difícil aplicação. *“Unfortunately, the mathematical tools employed in the Black-Scholes and Merton articles are quite advanced and have tended to obscure the underlying economics.”* (COX; ROSS and RUBINSTEIN, 1979).

Como a maioria dos projetos possui opções que podem ser exercidas em qualquer tempo, o fato do modelo só contemplar opções europeias torna o modelo

restrito para a análise de diversos casos. Como alternativa ao modelo BSM, Cox, Ross, & Rubinstein propõem um modelo discreto baseado em uma árvore binomial. Cox, Ross, & Rubinstein demonstram que uma distribuição lognormal contínua pode ser modelada de maneira mais simples ao se dividir o tempo em tempos discretos.

Segundo Brandão et al (2005) o modelo proposto por Cox, Ross, & Rubinstein pode ser usado como forma aproximada da solução proposta no modelo BSM e segundo Copeland e Antikarov (2001), conforme os tempos discretos vão se estreitando em intervalos menores, os resultados se aproximam de uma solução em tempo contínuo. O princípio básico do modelo é que o valor do ativo objeto segue sempre um MGB ao longo do tempo a partir de dois movimentos: um de subida e outro de descida. Ou seja, forma-se uma rede ao longo do tempo mostrando a evolução do valor do ativo nos diversos nós. Segundo J.C. Cox et Al (1979), a cada momento discreto, representado por um nó na rede, é possível se realizar um movimento de subida e outro de descida. O preço ( $S_t$ ) é multiplicado por uma variável de subida ( $u$ ) e por uma de descida ( $d$ ). Dessa forma, o ativo pode ter o preço de descida  $dS$  ou o preço de subida  $uS$ . Cada movimento de subida e descida possui uma probabilidade, determinada por ( $q$ ) no caso do movimento de subida e por ( $1-q$ ) no caso do movimento de descida.

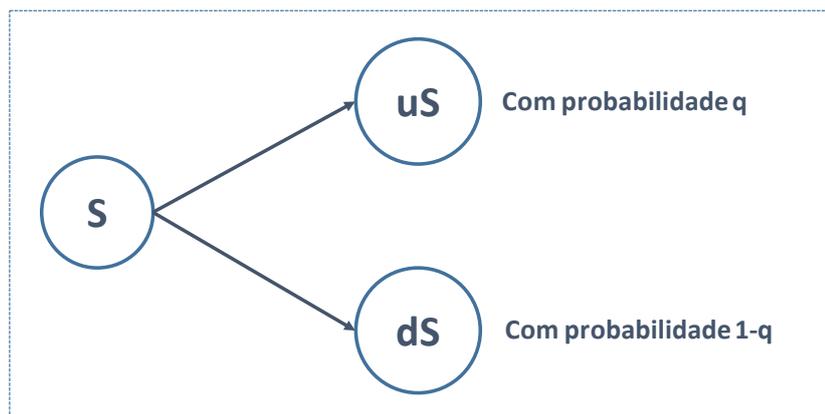


Figura 9: Exemplo de árvore binomial.

Para que os valores da árvore binomial, emulem uma distribuição lognormal, é necessário que ( $u$ ), ( $d$ ) e ( $q$ ) sejam definidos de forma que a média e

a variância dos retornos do valor do ativo ( $S$ ), seja o mesmo que o de um MGB. Dessa forma, temos as seguintes equações para cada variável:

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad (2)$$

$$d = \frac{1}{u} \quad (3)$$

$$p = \frac{1+r_f-d}{u-d} \quad (4)$$

onde:

$\Delta t$  = Intervalo de tempo;

$\sigma$  = Volatilidade do valor do ativo;

$r_f$  = taxa livre de risco.

## 4

### Metodologia e Modelagem

#### 4.1

##### Informações gerenciais sobre a implementação de postos de recarga

As principais premissas do projeto serão alimentadas por dois estudos básicos. O primeiro é o edital de PPP da Prefeitura do Rio de Janeiro, para o Carro Elétrico Carioca.<sup>15</sup> Os estudos que suportam o Edital foram realizados pela PWC, Radar PPP, Albino Advogados Associados, dentre outros consultores. O segundo estudo é um conjunto de recomendações formuladas pelo C2ES. O C2ES é uma organização independente, apartidária e sem fins lucrativos baseada nos Estados Unidos que visa promover políticas públicas tendo como principal driver o uso de energia limpa e renovável.

Os estudos apresentam diversas premissas em relação a implementação de postos de recarga para as cidades do Rio de Janeiro e de Washington nos Estados Unidos.

#### 4.2

##### Modelo econômico Financeiro

Um modelo econômico financeiro será formulado através das informações obtidas conforme descrição acima. O Objetivo é estimar os fluxos de caixa livre futuros do projeto.

---

<sup>15</sup> PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, Secretária Especial de Concessões e Parcerias Público-Privadas, 2015.

### 4.3

#### Modelo de Opções Reais

Foi considerada como opção de expansão a possibilidade de se fazer um projeto replicante ao inicial, detida pelo investidor. Ou seja, entre 2º, 3º 4º e 5º anos existe a possibilidade de se investir novamente o mesmo montante de forma a duplicar o projeto. De forma a simplificar a análise foi considerado que as opções são do tipo europeia, podendo ser exercidas ou no 2º ano ou no 3º ano ou no 4º ano ou no 5º. A metodologia utilizada na aplicação das opções reais no ativo objeto será a proposta por Copeland e Antikarov (2001), dividido em duas etapas:

#### 4.3.1

##### Primeira Etapa

A primeira etapa é assumir duas premissas a *Marketed Asset Disclaimer* (MAD) e que os fluxos de caixa futuros do ativo objeto possuem flutuações aleatórias

#### 4.3.1.1

##### Marketed Asset Disclaimer

O ativo objeto em questão possui duas restrições que dificultam bastante a estimação de sua volatilidade:

**Greenfield:** O ativo objeto será implementando em  $t=0$ , dessa forma não possui dados históricos sobre o comportamento do seu valor; e

**Não é negociado em bolsa:** Como o ativo objeto não é negociado em bolsa, não é possível o uso de um ativo gêmeo. Ou seja, não é possível encontrar um outro ativo que seja negociado, possuindo histórico de dados e que possua risco semelhante ao ativo objeto.

Dessa forma, Copeland e Antikarov (2001) sugerem que se use o próprio VPL do ativo objeto sem flexibilidades como o ativo subjacente ao risco ou a chamada *Marketed Asset Disclaimer* (MAD).

#### 4.3.1.2

#### Fluxos de caixa futuros possuem flutuações aleatórias

A segunda etapa é assumir que os fluxos de caixa futuros do ativo objeto possuem flutuações aleatórias. Segundo Paul Samuelson (1965) e Copeland e Antikarov (2003) independentemente do padrão de comportamento dos fluxos de caixa de qualquer ativo, mudanças no fluxo de caixa vão seguir um passeio aleatório.

*“This Means that there is no way of making an expected profit by extrapolating past changes in the futures price, by chart or any other esoteric devices of magic or mathematics. The market quotation  $Y(T,t)$  already contains in itself all that can be known about the future and in that sense has discounted future contingencies as much as is humanly possible (or inhumanly possible within the axiom of the model).”* (SAMUELSON, 1965).

Ou seja, se todas as informações disponíveis sobre os fluxos de caixa futuro do ativo objeto já foram consideradas de maneira apropriada em sua projeção, somente eventos aleatórios podem mudar esse fluxo.

#### 4.3.2

#### Segunda Etapa

A segunda etapa é estimar qual é a volatilidade da taxa de retorno do ativo objeto. Para que se chegue na taxa, é necessária a conversão dos valores dos fluxos de caixa do projeto, de acordo com a seguinte relação:

$$PV_t = PV_{t-1}e^{rt} \quad (5)$$

Logo temos que:

$$\ln\left(\frac{PV_t}{PV_{t-1}}\right) = rt \quad (6)$$

Sendo:

$PV_t$	Valor do projeto no instante $t$ ;
$PV_{t-1}$	Valor do projeto no instante $t-1$ ; e
$r_t$	Taxa de retorno do projeto.

Segundo Copeland e Antikarov (2001) essa é uma forma simples de se transformar as variações aleatórias do valor presente do ativo objeto em uma taxa e por sua vez estimar a sua volatilidade.

As diversas variações aleatórias são determinadas com o uso de algum programa que simule o método de Monte Carlo. No caso do presente estudo será utilizado o Software @Risk.

Após a estimação da volatilidade, seu valor é aplicado nas equações de forma a estimarmos de maneira apropriada os movimentos de subida e descida da árvore binomial de forma que a mesma reproduza um MGB ao longo do tempo.

Importante ressaltar que segundo Brandão, Dyer e Hahn (2005) o método proposto por Copeland e Antikarov (2001) pode superavaliar a volatilidade do projeto superestimando o valor da opção real. O motivo para essa superavaliação da volatilidade está no fato dela ser modelada em função do período “ $\Delta t$ ”, conforme demonstrado na formula 2. Desse modo, a variância e o valor do projeto aumentam conforme o número de períodos. De forma a corrigir essa distorção Brandão, Dyer e Hahn (2005) propõem que somente o primeiro período do projeto seja estocástico. Importante ressaltar que caso a volatilidade do projeto se mantenha inalterada em todos os anos, o método proposto por Copeland e Antikarov (2001), estima de maneira correta a sua volatilidade.

De forma a simplificar a análise e como uma primeira abordagem, foi considerado nesse estudo, somente o uso do modelo proposto por Copeland e Antikarov (2001).

## 4.4

### Modelagem

#### 4.4.1

#### Estrutura

Para a modelagem foi idealizada a seguinte estrutura:

- O projeto consiste na implementação e operação de infraestrutura para 400 postos de recarga simples e 48 de recarga rápida, totalizando um investimento de quase R\$ 100 milhões;
- Foi considerada que a implementação de toda a infraestrutura dura cerca de 1 ano. Na sequência o projeto gera fluxo de caixa por 10 anos, com o ativo sendo totalmente amortizado e sem valor econômico ao final do 10º ano;
- O modelo é em termos reais, não considera inflação;
- Não foi considerada perpetuidade por dois fatores básicos: de forma a simplificar a análise dos resultados do modelo e por ser provável que daqui a 10 anos outras tecnologias irão surgir e terão um melhor custo-benefício do que manter a estrutura atual. Não obstante, após cerca de 10 anos, é crível afirmar que os postos não terão mais valor econômico, seja pelo próprio desgaste do ativo, ou pela própria obsolescência da tecnologia.
- A estrutura do modelo econômico-financeiro segue a estrutura básica de uma DRE e Fluxo de caixa contábeis:

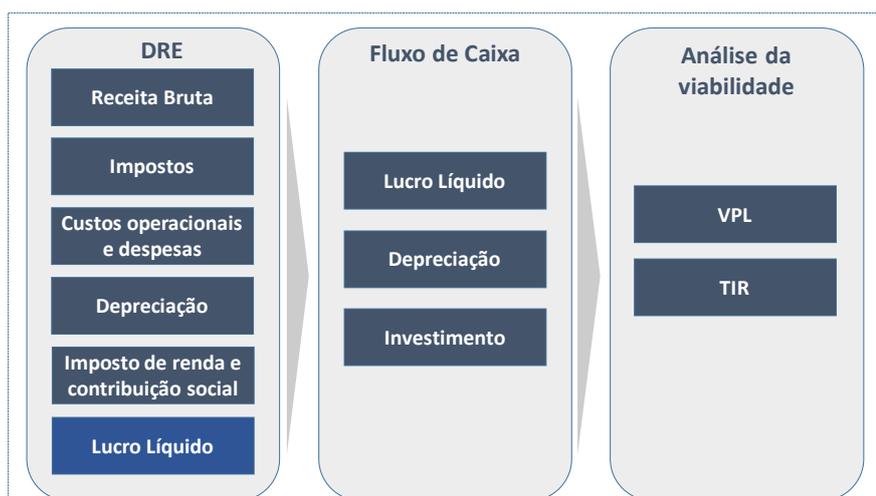


Figura 10: Estrutura do Modelo Econômico-Financeiro.  
Fonte: Elaboração do autor.

- De forma a simplificar o modelo, não foi considerado gastos com capital de giro e nem a captação de dívida de terceiros. A estrutura de capital é composta 100% por capital próprio;
- A análise de viabilidade do projeto foi feita a partir da TIR e VPL gerados pelos fluxos de caixa futuros do projeto.

#### 4.4.2

##### Premissas do Modelo

**Receita:** A receita é uma composição de diversas premissas:

- **Mark-up da energia vendida:** A empresa estipula um *mark-up* sobre o preço de compra da energia entregue pela concessionária local em seu posto de recarga. Ou seja, o preço de venda da energia para um cliente que esteja abastecendo o seu carro é o preço de compra da energia pela empresa da concessionária local acrescido de um *mark-up*. Segundo os estudos do C2ES<sup>16</sup> esse valor para posto de recarga de nível 2 deve orbitar em torno de 300% e para o posto de recarga rápida o dobro disso, 600%. Esses foram os valores utilizados como base para esse estudo;

<sup>16</sup> NIGRO, Nick; FRADES, Matt, 2015.

- **Taxa de utilização:** A taxa de utilização é o percentual de uso diário do posto de recarga, ou seja, por quantas horas ao dia ele está sendo efetivamente usado para recarregar algum tipo de veículo. Os números no mercado diferem bastante e por ser uma informação estratégica são pouco divulgados pelas empresas. Os estudos da C2ES<sup>12</sup> citam números para a cidade de Longview entre 10,3% a 15% entre os meses de maio e junho de 2014. Entretanto em seus estudos econômicos adotam taxas de utilização de 20% a 40%, com um crescimento anual de 15%. A ChargePoint<sup>17</sup> cita em uma apresentação corporativa que a taxa de utilização em seus postos de recarga na cidade de Sacramento variavam, aproximadamente, de 5% a 80% em abril de 2014, de acordo com a localização de cada posto. Já os estudos elaborados pelo Luskin Center<sup>18</sup> citam uma taxa de utilização variando de 20% a 33%. Para esse estudo foi considerado que no ano 1 a utilização média dos postos de recarga, tanto nível 2 quanto rápido, seria de 9%, crescendo 20% a.a., chegando em 46% no décimo ano;
- **Capacidade de recarga:** A capacidade de recarga de um posto varia conforme o modelo sendo utilizado. Foi considerado que um posto de recarga de nível 2 consegue prover cerca de 6,6 kw/h, de acordo com a PluginAmerica<sup>19</sup>, e que cada posto possui 5 conectores de uso concomitante de acordo com o proposto pelo C2ES<sup>20</sup>. Já os postos de recarga rápida conseguem prover cerca de 50 kw/h, de acordo com o PluginAmerica<sup>15</sup>, e que cada posto possui 1 conector de acordo com o proposto pelo C2ES<sup>19</sup>.

### Impostos:

- O modelo econômico segue o regime de tributação de lucro real, pagando 34% de imposto de renda e contribuição social. As alíquotas de PIS, Cofins e ISS foram definidas em 14,25%, mesmo

---

<sup>17</sup> CHARGEPOINT, Maio 2014.

<sup>18</sup> CHANG, Daniel; ERSTAD, Daniel; LIN, Alicia; TZUN, Chia; TSAO; SNYDER, Jason, 2012.

<sup>19</sup> <https://pluginamerica.org/understanding-electric-vehicle-charging/>. 31/01/2011.

<sup>20</sup> NIGRO, Nick; FRADES, Matt, 2015.

valor utilizado pelo Plano de Negócios da PPP do carro elétrico<sup>21</sup>. Não foram considerados benefícios fiscais nem diferimento de imposto de renda por saldo tributável negativo.

#### **Despesas:**

- Foi considerado como despesa o custo de R\$ 4 milhões por ano com o *overhead* para a gestão do projeto e seus ativos.

#### **Custos Fixos:**

- **Manutenção:** Foi considerado o valor de 12,0% a.a. sobre o capex imobilizado, sem considerar depreciação, como gasto com manutenção do ativo. Essa taxa foi baseada no valor estimado pelo Plano de Negócios para a PPP do carro elétrico<sup>22</sup>;
- **Seguro:** Foi considerado o valor de 2,0% a.a. sobre o capex imobilizado, sem considerar depreciação, como gasto com seguro do ativo. Essa taxa foi baseada no valor estimado pelo Plano de Negócios para a PPP do carro elétrico<sup>17</sup>.

#### **Custos Variáveis (OPEX):**

- **Gasto com energia (Posto de Recarga nível 2):** Foi considerado, de forma conservadora, o preço do kWh em R\$ 0,70, com os devidos impostos já inclusos. Foi considerado que um posto de recarga de nível 2 consegue prover cerca de 6,6 kW/h, de acordo com a PluginAmerica<sup>23</sup> e que cada posto possui 5 conectores de uso concomitante, de acordo com o proposto pelo C2ES<sup>24</sup>. O valor de entrega do kW ao ano é determinado pela taxa de utilização média de cada posto de recarga.

---

<sup>21</sup> PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. Secretária Especial de Concessões e Parcerias Público-Privadas, 2015.

<sup>22</sup> PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. Secretária Especial de Concessões e Parcerias Público-Privadas, 2015.

<sup>23</sup> <https://pluginamerica.org/understanding-electric-vehicle-charging/> 31/01/2011.

<sup>24</sup> NIGRO, Nick; FRADES, Matt, 2015.

- **Gasto com energia (Posto de Recarga rápida):** Foi considerado, de forma conservadora, o preço do kWh em R\$ 0,70, com os devidos impostos já inclusos. Foi considerado que um posto de recarga rápida consegue prover cerca de 50 kW/h, de acordo com a PluginAmerica<sup>25</sup> e que cada posto possui 1 conector, de acordo com o proposto pelo C2ES<sup>19</sup>. O valor de entrega do kW ao ano é determinado pela taxa de utilização média de cada posto de recarga.

### Depreciação

- A depreciação dos ativos é feita em 10 anos de maneira constante.

### Investimentos:

- **Posto de recarga nível 2:** Foi considerado o valor de US\$ 43,5 mil por posto de recarga com opção para 5 recargas concomitantes, já incluindo toda a obra civil e demais intervenções para sua plena instalação. Esse valor foi baseado no estudo da C2ES<sup>19</sup>. Sobre esse preço foi acrescida uma margem de 30% considerando custos extras com possíveis impostos e taxas de importação e outros itens adicionais. Cotação do dólar usada na conversão foi de 3,5 R\$/US\$.
- **Posto de recarga rápida:** Foi considerado o valor de US\$ 92 mil por posto de recarga com opção para somente uma recarga por vez, já incluindo toda a obra civil e demais intervenções para sua plena instalação. Esse valor foi baseado no estudo da C2ES<sup>19</sup>. Sobre esse preço foi acrescida uma margem de 30% considerando custos extras com possíveis impostos e taxas de importação e outros itens adicionais. Cotação do dólar usada na conversão foi de 3,5 R\$/US\$.
- **Instalações e Imobiliário:** Foi considerado o valor de R\$ 200 mil para compra de imobiliário e adaptação civil do imóvel alugado para ser o escritório do projeto.

---

<sup>25</sup> <http://www.pluginCars.com/electric-car-quick-charging-guide.html>. 03/09/2014.

## Estrutura de Capital

- Foi considerado o uso de 100% de capital próprio como fonte para o projeto. A taxa de capital próprio ( $K_e$ ) foi estimada em 12% e determinada da seguinte forma:
  - Taxa livre de risco (RF): Foi considerado o *spread* do título público NTN-B Principal, com vencimento em 2024 de 6,5% a.a.;
  - Prêmio de mercado (MP): Foi considerado o Valor de 5% a.a.. É consenso no mercado que o valor para essa variável seja em torno de 5% a 7%, dependendo da metodologia e do mercado sendo estudado;
  - Beta (B): Como não existem empresas abertas maduras comparáveis, foi considerado o beta de mercado para o cálculo, ou seja  $Beta = 1$ ;
  - Prêmio de risco (PR): Por ser um projeto *greenfield* e pioneiro no país, foi adicionada a taxa de desconto um prêmio de risco de 0,5% a.a.

A fórmula para o cálculo do  $K_e$  segue abaixo:

$$K_e = RF + PR + B * MP \quad (7)$$

## 5

### Análise dos Modelos e Resultados

#### 5.1

##### Estrutura da Análise

Primeiramente, a viabilidade do projeto foi feita a partir das teorias tradicionais de avaliação, analisando os resultados da TIR e VPL gerados pelo projeto. Em seguida, foi aplicada a teoria das opções reais para precificar as opções de expansão embutidas dentro do projeto e conseqüentemente analisar se essas agregam valor melhorando a viabilidade do projeto.

##### 5.1.1

##### Análise Tradicional

A construção da infraestrutura inicial tende a gerar demanda pela utilização dos carros elétricos e conseqüentemente pelos postos de recarga, entretanto, essa demanda pode demorar algum tempo para se consolidar. O mercado de carros elétrico é hoje muito dependente dos chamados *early adopters* ou primeiros usuários. De acordo com o BNEF<sup>26</sup>, muitos deles são entusiastas de novas tecnologias ou querem simplesmente diminuir suas emissões de carbono. Dessa forma, como a adoção pelos demais usuários pode levar algum tempo, ao implementar-se o primeiro projeto, pode ser que demore algum tempo até que o mesmo tenha demanda suficiente para sua viabilidade, ou mesmo instalando somente um projeto inicial, sem considerar flexibilidades através de opções de expansão, pode ser que ele não seja viável. No Anexo, estão demonstrados os resultados para a implementação inicial do projeto, DRE e Fluxo de caixa, sem considerar flexibilidade com opções de expansão.

---

<sup>26</sup><https://about.bnef.com/blog/electric-vehicles-to-be-35-of-global-new-car-sales-by-2040/25/02/2016>.

### 5.1.2

#### Resultados da Análise Tradicional

Mesmo com a taxa de utilização dos postos crescendo 20% a.a. e com um *Mark-up* de 300%, igual ao proposto pelos estudos do C2ES, o projeto não gerou retorno financeiro: O fluxo de caixa do projeto gerou um VPL negativo de R\$ 14,4 milhões e uma TIR de 9,62%, abaixo do  $K_e$  estabelecido para o projeto de 12,0%. Dessa forma, pela análise tradicional o projeto deveria ter a sua viabilidade rejeitada, já que o VPL é menor do que zero e a TIR abaixo do retorno mínimo determinado pelo investidor para o projeto. Estudos realizado pelo C2ES<sup>27</sup> também não conseguiram demonstrar a viabilidade econômico-financeira de projetos similares. Em todos os casos o VPL encontrado foi negativo.

### 5.1.3

#### Análise por Opções Reais

O projeto analisado pela ótica tradicional não possui viabilidade financeira. Dessa forma, iremos acrescentar flexibilidade ao projeto através de opções de expansão e analisar se essas agregam valor suficiente ao projeto para que o mesmo possua viabilidade financeira.

Conforme exposto no item 4.3, foi considerada como opção de expansão a possibilidade de se fazer um projeto replicante ao inicial, detida pelo investidor, entre os 2º, 3º 4º e 5º anos. Em relação às variáveis de incerteza foram consideradas duas, que afetam a volatilidade do projeto: preço de venda da energia ou *mark-up* e taxa de utilização dos postos de recarga.

Embora o *mark-up* analisado de forma direta, seja uma escolha estratégica do investidor, outros fatores externos afetam de igual forma a receita bruta do projeto podendo ser modeladas como um *mark-up*. Um exemplo é uma contraprestação variável paga pelo governo de forma a fomentar a instalação dos postos de recarga. Dentro da modelagem financeira ela teria o mesmo efeito de um aumento do *mark-up*. Outro mecanismo que os entes públicos podem utilizar para fomentar a instalação dessa infraestrutura, elevando o *mark-up*, seria uma

---

<sup>27</sup> NIGRO, Nick; FRADES, Matt, 2015.

possível redução nos impostos incidentes na receita bruta. Uma redução ou mesmo eliminação total dos tributos, teria o mesmo efeito que um aumento no *mark-up* do projeto. Existe ainda a possibilidade de que conforme o serviço fique mais conhecido por parte dos usuários, sua percepção de utilidade aumente, abrindo espaço para o investidor aumentar o *mark-up*. Por outro lado, todos os movimentos descritos acima, podem ser modelados de forma a diminuir o *mark-up*: O Governo pode determinar o pagamento de um valor de outorga para o funcionamento da rede de recarga ou aumentar os impostos que incidem sobre o setor. O investidor, por sua vez, pode ter que diminuir o *mark-up*, seja para aumentar a percepção de utilidade do consumidor acelerando a taxa de utilização, seja por conta de uma concorrência mais agressiva com outro *player* no mercado.

A volatilidade da taxa de utilização irá depender da rapidez na adoção da nova tecnologia por parte dos novos usuários, que está ligada a percepção de valor do usuário em relação ao uso do carro elétrico.

Esses dois parâmetros de incerteza também são os considerados por Schroeder e Traber (2011) em sua análise de rentabilidade de um posto de recarga.

De forma a analisar como essas duas variáveis afetam o projeto, esse estudo considerou 9 cenários distintos:

- **1º cenário:** O modelo foi rodado considerando ambas as incertezas. Para o *mark-up* foi considerada uma distribuição triangular de média 300% com limite superior e inferior de 100%. Para a taxa de utilização foi considerada uma distribuição normal com média 20% e desvio padrão de 2%;
- **2º cenário:** O modelo foi rodado considerando somente o Mark-up como incerteza com uma distribuição triangular de média 300% com limite superior e inferior de 100%;
- **3º cenário:** O modelo foi rodado considerando somente o Mark-up como incerteza com uma distribuição triangular de média 300% com limite superior e inferior de 60%;

- **4º cenário:** O modelo foi rodado considerando somente o Mark-up como incerteza com uma distribuição triangular de média 300% com limite superior e inferior de 30%;
- **5º cenário:** O modelo foi rodado considerando somente a Taxa de utilização como incerteza com uma distribuição normal de média 20% com desvio padrão de 2%;
- **6º cenário:** O modelo foi rodado considerando somente a Taxa de utilização como incerteza com uma distribuição normal de média 20% com desvio padrão de 3%;
- **7º cenário:** O modelo foi rodado considerando somente a Taxa de utilização como incerteza com uma distribuição normal de média 20% com desvio padrão de 5%;
- **8º cenário:** O modelo foi rodado considerando somente a Taxa de utilização como incerteza com uma distribuição normal de média 20% com desvio padrão de 10%;
- **9º cenário:** O modelo foi rodado considerando ambas as incertezas. Para o Mark-up foi considerada uma distribuição triangular de média 300% com limite superior e inferior de 30%. Para a taxa de utilização foi considerada uma distribuição normal com média 20% e desvio padrão de 2%

O primeiro cenário é demonstrado de forma detalhada, explicando todas as etapas, de forma a expor melhor a metodologia utilizada. Os demais cenários são apresentados de forma resumida.

### 5.1.3.1

#### 1º Cenário

Primeiramente foi rodado o Valor Presente (VP) dos fluxos de caixa futuros do projeto, sem considerar o valor do investimento e nenhuma flexibilidade no primeiro ano, de acordo com a MAD e usando a taxa de desconto de 12%, gerando um VP de R\$ 85,07 milhões. Na sequência, foi realizada uma simulação de Monte Carlo, considerando as distribuições descritas acima para as

variáveis de incerteza, de forma a auferir a volatilidade do projeto. A cada interação feita na simulação, novos valores são definidos para o fluxo de caixa, impactando o VPL do projeto. De acordo com a metodologia proposta por Copeland e Antikarov (2001), foi considerada a seguinte variável estocástica para a taxa de retorno:

$$\ln\left(\frac{PV_t}{PV_{t-1}}\right) = rt \tag{8}$$

PV<sub>t-1</sub> é o valor presente dos fluxos de caixa futuros do projeto, sem flexibilidade e valor do investimento. PV<sub>t</sub> é a variável estocástica do valor presente do projeto no segundo ano, acrescida do valor do fluxo de caixa do projeto no primeiro ano. Para a obtenção da volatilidade do projeto, foram feitas 10 mil interações, usando o software @Risk tendo sido obtido o resultado de 54,74% para a volatilidade do projeto. Abaixo segue o gráfico com os resultados das interações:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1512743/CA

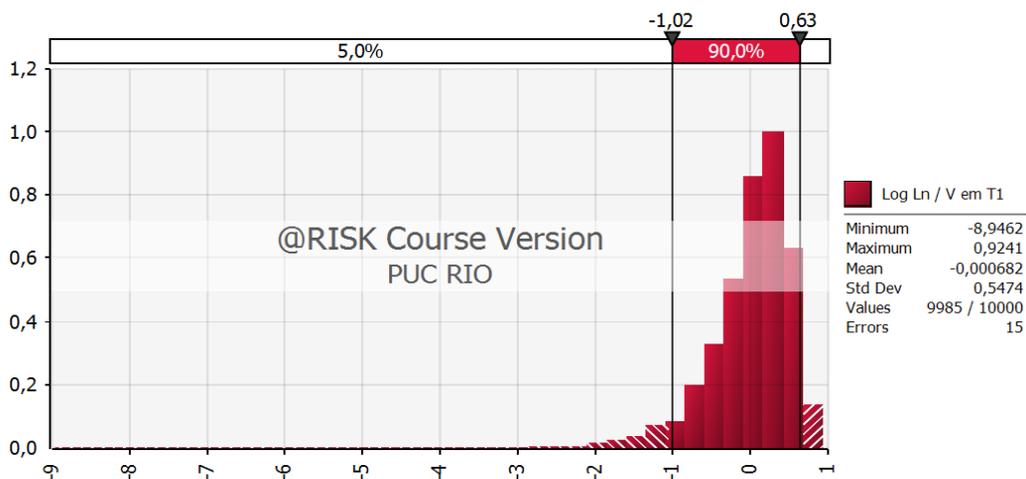


Figura 11: 1º Cenário: Distribuição do VPL com opção.

### 5.1.3.2

#### 1º Cenário: Construção da Árvore Binomial do Projeto

Após a volatilidade do projeto ter sido determinada, o passo seguinte foi determinar todos os parâmetros para a construção da árvore binomial, de forma a modelar como as variáveis de incerteza definidas, impactam de forma única o

valor do projeto e dos fluxos de caixa estocásticos para que o projeto siga um Movimento Geométrico Browniano, de acordo com o proposto por Copeland e Antikarov (2001). Abaixo, são demonstrados os parâmetros definidos para a árvore binomial do projeto:

Tabela 2: Parâmetros Definidos para a Construção da Árvore Binomial.

Parâmetros definidos para a construção da Árvore binomial		
Parâmetro	Valor	Descrição
$\sigma$	54,74%	Volatilidade do projeto
u	1,729	valor de tendência de crescimento de subida
d	0,578	valor de tendência de crescimento de descida
RF	6,5%	Taxa livre de risco
p	0,42	probabilidade de subida
1-p	0,58	probabilidade de descida
VP	85,07	Valor Presente do projeto em T = 0
Investimento	-99,46	Valor do investimento do projeto

A cada período T da árvore binomial existe a possibilidade de dois movimentos: um de descida e outro de subida. O valor de descida em T, chamado de Sd é obtido pela multiplicação do valor do projeto em T-1 por d. O valor de subida em T, chamado Su é obtido pela multiplicação do valor do projeto em T-1 por u. Abaixo segue o esquema da árvore binomial para T=2 e T=3.

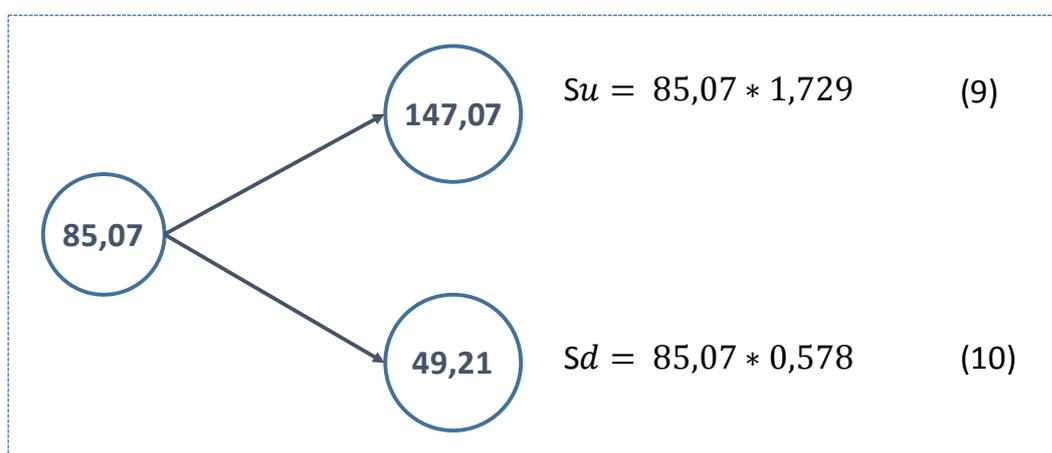


Figura 12: Árvore Binomial em T=2.

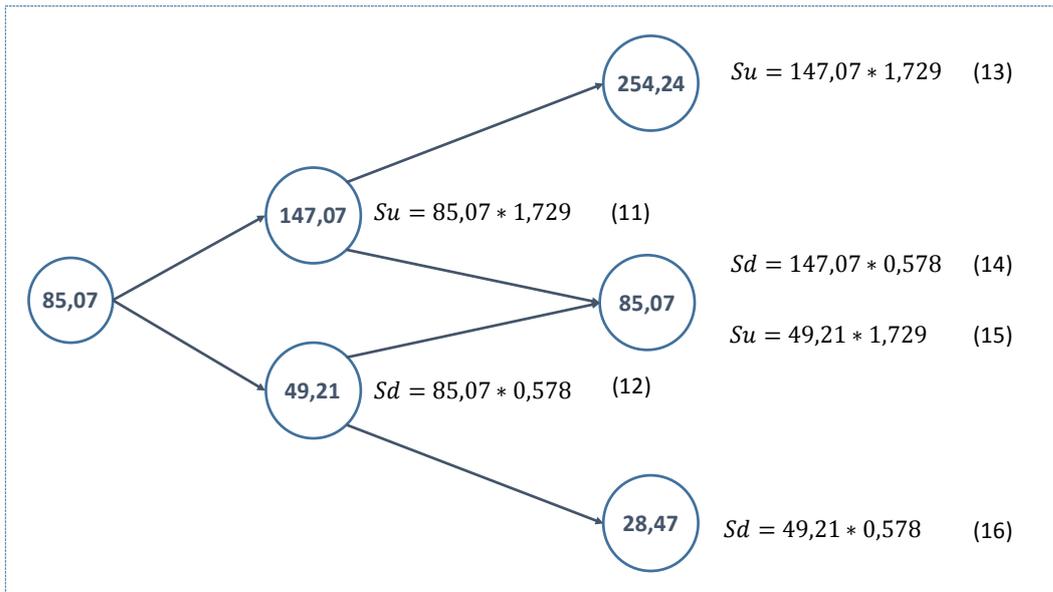


Figura 13: Árvore Binomial em T=3.

Dessa forma, chegamos na construção da seguinte árvore binomial para o projeto:

Árvore Binomial do Projeto				
T 1	T 2	T 3	T 4	T 5
				759,83
			439,52	
		254,24		254,24
	147,07		147,07	
85,07		85,07		85,07
	49,21		49,21	
		28,47		28,47
			16,47	
				9,52

Figura 14: Árvore Binomial Completa do Projeto.

### 5.1.3.3

#### 1º Cenário: Cálculo do Valor presente das opções de expansão e Resultado

O passo seguinte à modelagem da árvore binomial é o cálculo do valor da opção de expansão entre o segundo e quinto ano do projeto. A cada ano, o investidor detém o direito de fazer ou não a expansão de um projeto replicante ao custo do investimento do projeto inicial de R\$ 99,46 milhões. Se o valor do

projeto for superior ao investimento, o investidor exerce a opção de expansão, caso contrário abandona ela. Importante ressaltar que de forma conservadora, não foi considerado no estudo uma possível redução no valor do capex conforme a evolução dos períodos devido a algum ganho de tecnologia. A figura 15, demonstra o cálculo para a opção de expansão para o segundo ano:



Figura 15: Cálculo para a opção de expansão para o segundo ano.

Nesse caso, a opção de expansão acrescenta cerca de R\$ 18 milhões ao VPL do projeto. Somando-se esse valor ao VPL inicial de – R\$ 14,4 milhões, o VPL do projeto torna-se positivo em R\$ 3,6 milhões. Dessa forma, a opção agrega valor ao projeto tornando-o viável. As figuras 16, 17 e 18 apresentam as opções de expansão para o 3º, 4º e 5º anos.

Opção de Expansão 3º ano				
T 5	T 4	T 3	T 2	T 1
		154,78		
			58,45	
		0,00		22,08
			0,00	
		0,00		

Figura 16: Opção de Expansão para o 3º ano.

Opção de Expansão 4º ano				
T 5	T 4	T 3	T 2	T 1
	340,06			
		152,95		
	47,60		67,03	
		17,98		28,81
	0,00		6,79	
		0,00		
	0,00			

Figura 17: Opção de Expansão para o 4º ano.

Opção de Expansão 5º ano				
T 5	T 4	T 3	T 2	T 1
660,36				
	329,13			
154,78		154,41		
	58,45		69,69	
0,00		22,08		30,61
	0,00		8,34	
0,00		0,00		
	0,00			
0,00				

Figura 18: Opção de Expansão para o 5º ano.

Abaixo segue a tabela com o resumo do valor da opção de expansão em cada ano e o gráfico mostrando a evolução do valor da opção no tempo:

Tabela 3: Resumo do Valor das Opções.

Resumo do Valor das Opções			
Período	Valor das Opções	VPL do Projeto sem opção	VPL do Projeto com Opção
T=2	17,98	-14,39	3,59
T=3	22,08	-14,39	7,68
T=4	28,81	-14,39	14,42
T=5	30,61	-14,39	16,22

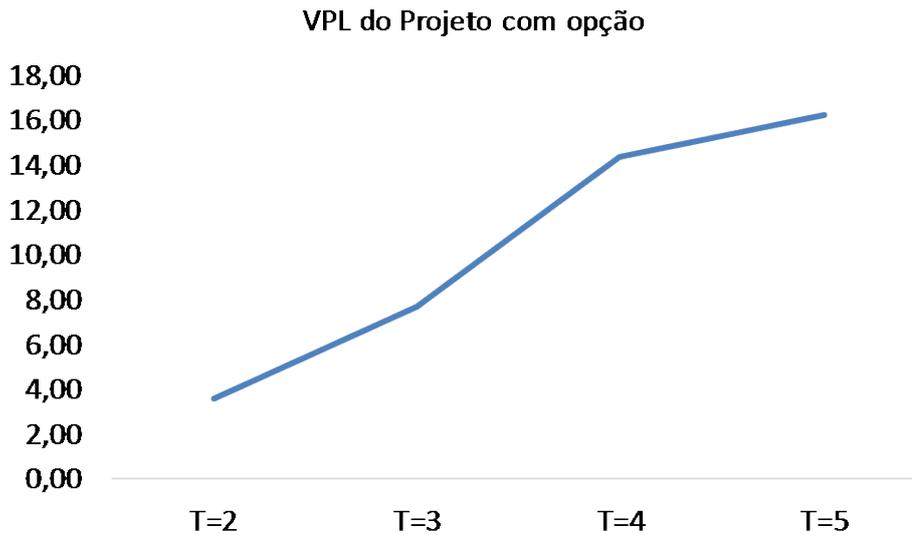


Figura 19: VPL do projeto com o uso de opções reais.

Conforme exposto na tabela 3 e na figura 19, a modelagem com o uso de opções reais sempre agrega valor ao VPL do projeto, tornando o mesmo economicamente viável.

### 5.1.3.4

#### 2º Cenário

Ao rodarmos o projeto considerando somente a *mark-up* como incerteza, e tendo uma distribuição triangular de média 300% e limite inferior e superior de 100%, a volatilidade do projeto foi estimada em 50,31%:

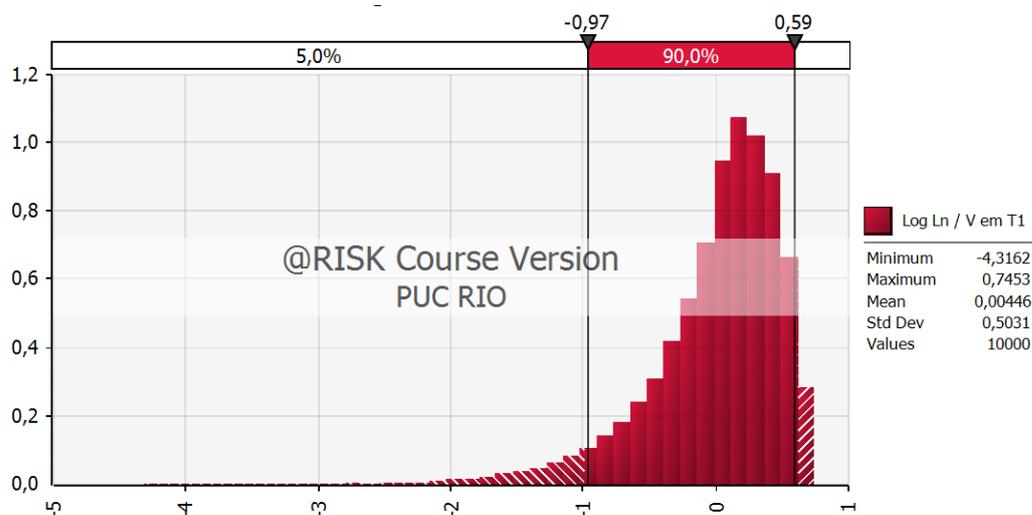


Figura 20: 2º Cenário: Distribuição do VPL com opção.

Segue abaixo o resumo do valor das opções:

Tabela 4: 2º Cenário: Resumo do Valor das Opções.

Resumo do Valor das Opções - 2º Cenário			
Período	Valor das Opções	VPL do Projeto sem opção	VPL do Projeto com Opção
T=2	16,15	-14,39	1,76
T=3	20,45	-14,39	6,05
T=4	26,67	-14,39	12,28
T=5	28,70	-14,39	14,31

Conforme exposto acima e considerando os parâmetros propostos para o 2º cenário, o uso de opções reais pode agregar valor ao projeto em todos os anos, tornando o projeto economicamente viável.

### 5.1.3.5

#### 3º Cenário

Ao rodarmos o projeto considerando somente o *mark-up* como incerteza e tendo uma distribuição triangular de média 300% e limite inferior e superior de 60%, a volatilidade do projeto foi estimada em 24,32%:

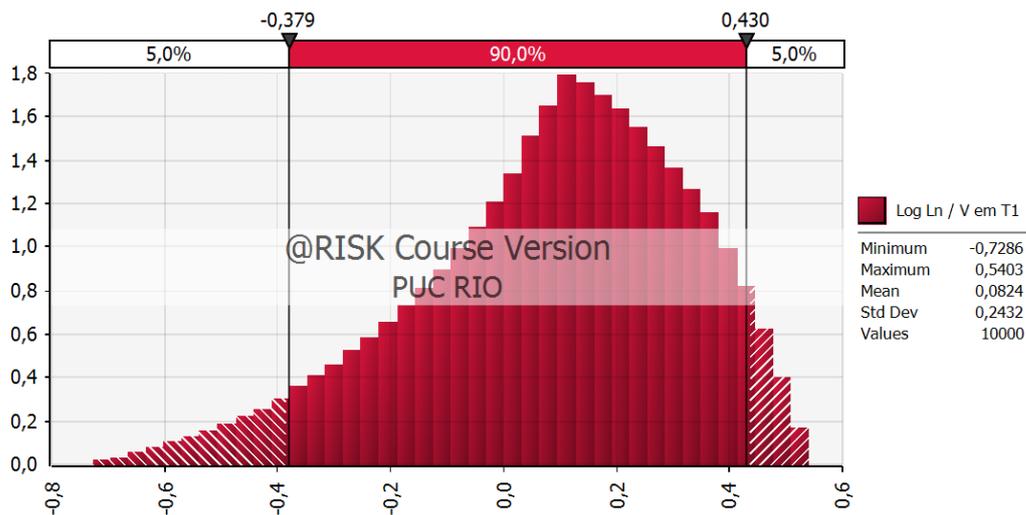


Figura 21: 3º Cenário: Distribuição do VPL com opção.

Segue abaixo o resumo do valor das opções:

Tabela 5: 3º Cenário: Resumo do Valor das Opções.

Resumo do Valor das Opções - 3º Cenário			
Período	Valor das Opções	VPL do Projeto sem opção	VPL do Projeto com Opção
T=2	4,61	-14,39	-9,78
T=3	10,14	-14,39	-4,25
T=4	12,95	-14,39	-1,44
T=5	16,45	-14,39	2,06

Conforme exposto acima, e considerando os parâmetros propostos para o 3º cenário, o uso de opções reais pode agregar valor ao projeto em todos os anos, embora só torne o projeto economicamente viável caso a opção seja exercida no 5º ano.

### 5.1.3.6

#### 4º Cenário

Ao rodarmos o projeto considerando somente o *mark-up* como incerteza e tendo uma distribuição triangular de média 300% e limite inferior e superior de 30%, a volatilidade do projeto foi estimada em 11,51%:

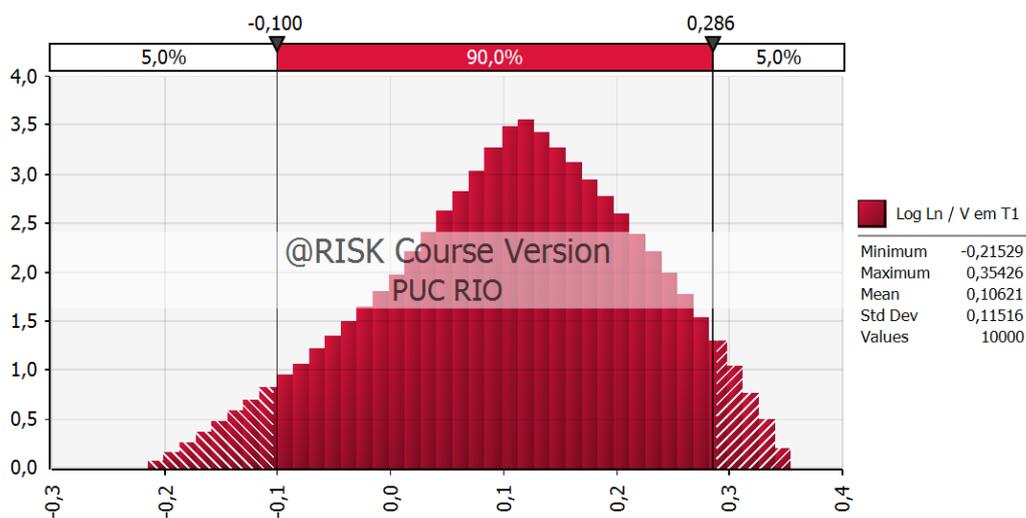


Figura 22: 4º Cenário: Distribuição do VPL com opção.

Segue abaixo o resumo do valor das opções:

Tabela 6: 4º Cenário: Resumo do Valor das Opções.

Resumo do Valor das Opções - 4º Cenário			
Período	Valor das Opções	VPL do Projeto sem opção	VPL do Projeto com Opção
T=2	0,00	-14,39	-14,39
T=3	3,45	-14,39	-10,94
T=4	6,29	-14,39	-8,10
T=5	9,27	-14,39	-5,12

Conforme exposto acima, e considerando os parâmetros propostos para o 4º cenário, o uso de opções reais agrega valor ao projeto entre o 3º e 5º anos, embora não torne o projeto economicamente viável em nenhum ano.

### 5.1.3.7

#### 5º Cenário

Ao rodarmos o projeto considerando somente a taxa de utilização como incerteza e tendo uma distribuição normal de média 20% e desvio padrão de 2%, a volatilidade do projeto foi estimada em 14,27%:

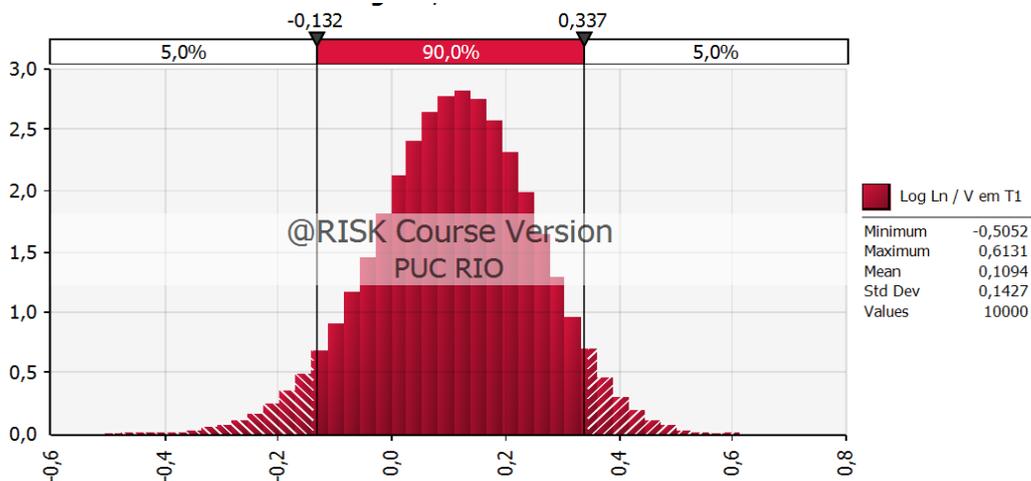


Figura 23: 5º Cenário: Distribuição do VPL com Opção.

Segue abaixo o resumo do valor das opções:

Tabela 7: 5º Cenário: Resumo do Valor das Opções.

Resumo do Valor das Opções - 5º Cenário			
Período	Valor das Opções	VPL do Projeto sem opção	VPL do Projeto com Opção
T=2	0,00	-14,39	-14,39
T=3	5,22	-14,39	-9,17
T=4	7,31	-14,39	-7,08
T=5	10,97	-14,39	-3,42

Conforme exposto acima, e considerando os parâmetros propostos para o 5º cenário, o uso de opções reais agrega valor ao projeto entre o 3º e 5º anos, embora não torne o projeto economicamente viável em nenhum ano.

### 5.1.3.8

#### 6º Cenário

Ao rodarmos o projeto considerando somente a taxa de utilização como incerteza e tendo uma distribuição normal de média 20% e desvio padrão de 3%, a volatilidade do projeto foi estimada em 21,68%:

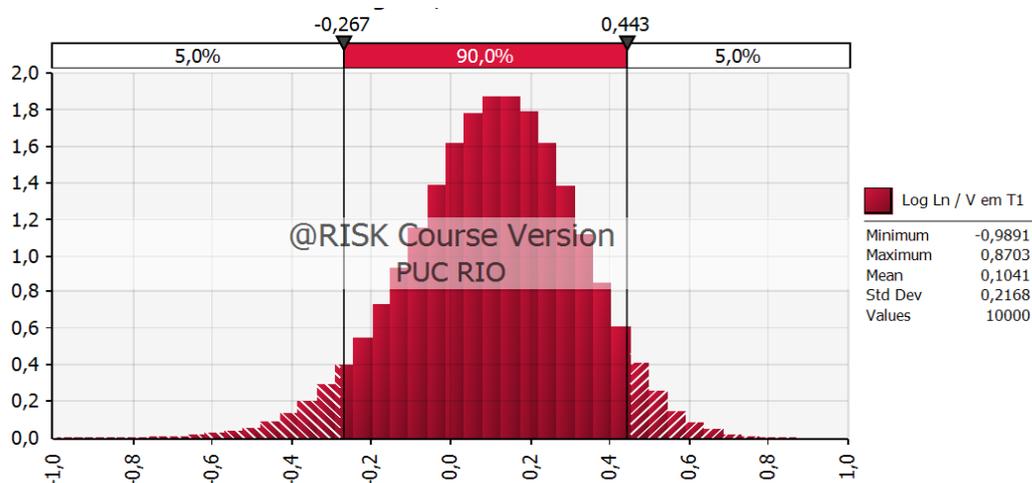


Figura 24: 6º Cenário: Distribuição do VPL com Opção.

Segue abaixo o resumo do valor das opções

Tabela 8: 6º Cenário: Resumo do Valor das Opções.

Resumo do Valor das Opções - 6º Cenário			
Período	Valor das Opções	VPL do Projeto sem opção	VPL do Projeto com Opção
T=2	3,29	-14,39	-11,10
T=3	8,96	-14,39	-5,43
T=4	11,42	-14,39	-2,97
T=5	15,08	-14,39	0,69

Conforme exposto acima, e considerando os parâmetros propostos para o 6º cenário, o uso de opções reais agrega valor ao projeto em todos os anos, embora só torne o projeto economicamente viável no 5º ano.

### 5.1.3.9

#### 7º Cenário

Ao rodarmos o projeto considerando somente a taxa de utilização como incerteza e tendo uma distribuição normal de média 20% e desvio padrão de 5%, a volatilidade do projeto foi estimada em 38,21%:

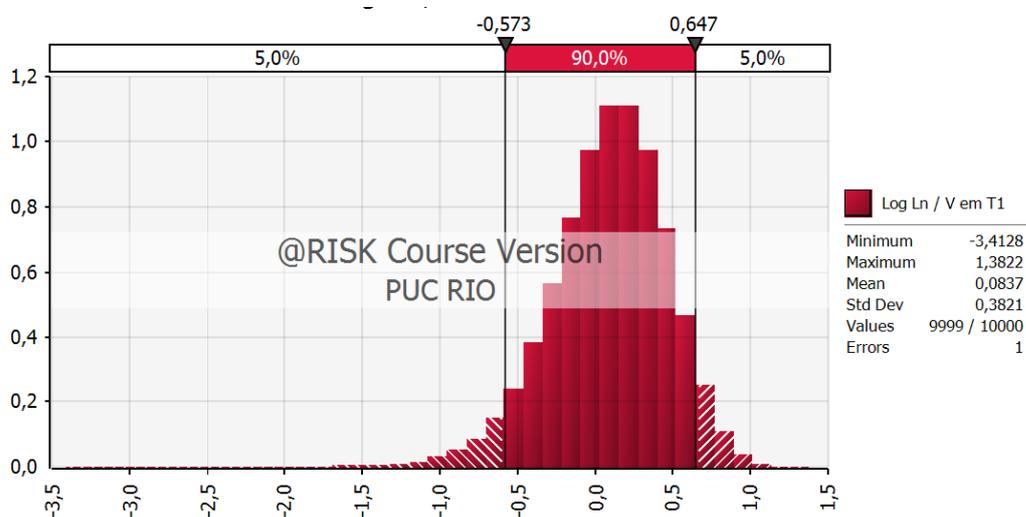


Figura 25: 7º Cenário: Distribuição do VPL com Opção.

Segue abaixo o resumo do valor das opções:

Tabela 9: 7º Cenário: Resumo do Valor das Opções.

Resumo do Valor das Opções - 7º Cenário			
Período	Valor das Opções	VPL do Projeto sem opção	VPL do Projeto com Opção
T=2	10,99	-14,39	-3,40
T=3	15,84	-14,39	1,45
T=4	20,54	-14,39	6,15
T=5	23,23	-14,39	8,84

Conforme exposto acima, e considerando os parâmetros propostos para o 7º cenário, o uso de opções reais agrega valor ao projeto em todos os anos, e só não torna o projeto economicamente viável no 2º ano.

### 5.1.3.10

#### 8º Cenário

Ao rodarmos o projeto considerando somente a taxa de utilização como incerteza e tendo uma distribuição normal de média 20% e desvio padrão de 10%, a volatilidade do projeto foi estimada em 81,04%:

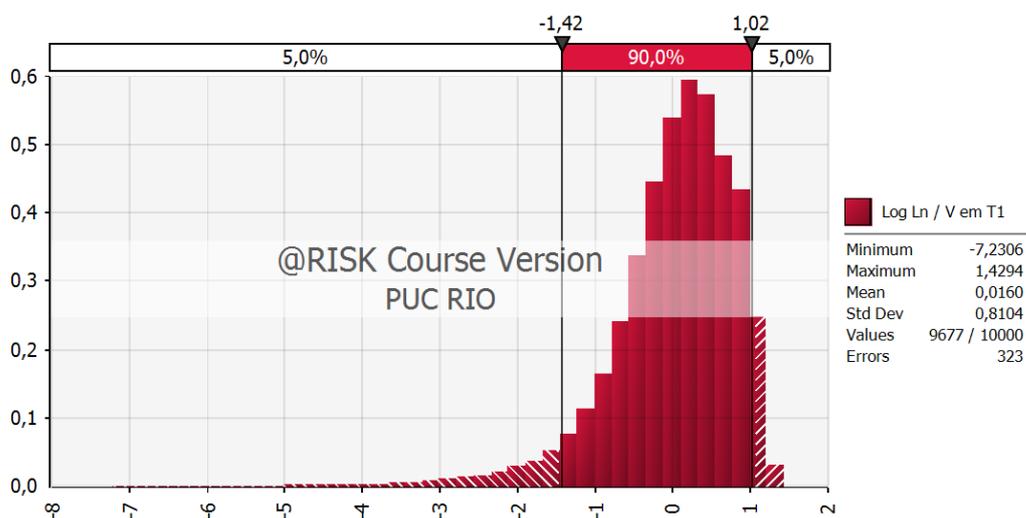


Figura 26: 8º Cenário: Distribuição do VPL com Opção.

Abaixo segue o resumo do valor das opções:

Tabela 10: 8º Cenário: Resumo do Valor das Opções.

Resumo do Valor das Opções - 8º Cenário			
Período	Valor das Opções	VPL do Projeto sem opção	VPL do Projeto com Opção
T=2	28,20	-14,39	13,80
T=3	31,17	-14,39	16,78
T=4	40,33	-14,39	25,94
T=5	40,87	-14,39	26,48

Conforme exposto acima, e considerando os parâmetros propostos para o 8º cenário, o uso de opções reais agrega valor ao projeto em todos os anos, e torna o projeto economicamente viável em todos os anos.

### 5.1.3.11

#### 9º Cenário

Ao rodarmos o projeto considerando a taxa de utilização com uma distribuição normal de média 20% e desvio padrão de 2% e o *mark-up* com uma distribuição triangular de média 300% e limite superior e inferior de 30%, a volatilidade do projeto foi estimada em 18,47%:

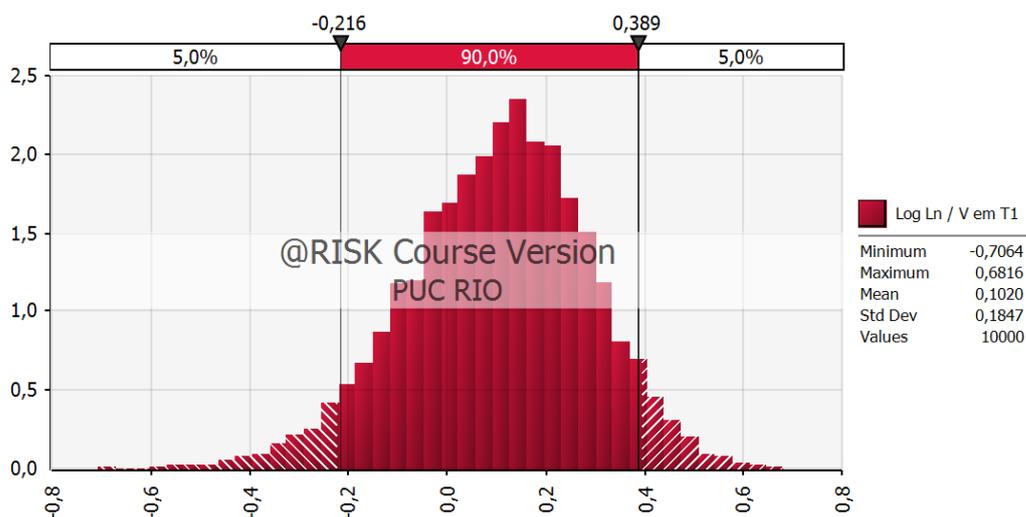


Figura 27: 9º Cenário: Distribuição do VPL com Opção.

Abaixo seguem os resumos do valor da opção:

Tabela 11: 9º Cenário: Resumo do valor das opções.

Resumo do Valor das Opções - 9º Cenário			
Período	Valor das Opções	VPL do Projeto sem opção	VPL do Projeto com Opção
T=2	1,61	-14,39	-12,78
T=3	7,45	-14,39	-6,94
T=4	9,50	-14,39	-4,89
T=5	13,36	-14,39	-1,03

Conforme exposto acima, e considerando os parâmetros propostos para o 9º cenário, o uso de opções reais agrega valor ao projeto em todos os anos, embora não torne o projeto economicamente viável em nenhum ano. Importante ressaltar que o 9º cenário considera ambas as incertezas com seus menores valores de volatilidade em suas distribuições e mesmo rodando-as em conjunto, elas não agregam valor suficiente para tornar o projeto economicamente viável.

### 5.1.3.12

#### Resumo de todas os Cenários

A figura 28 apresenta o resumo de todas das modelagens

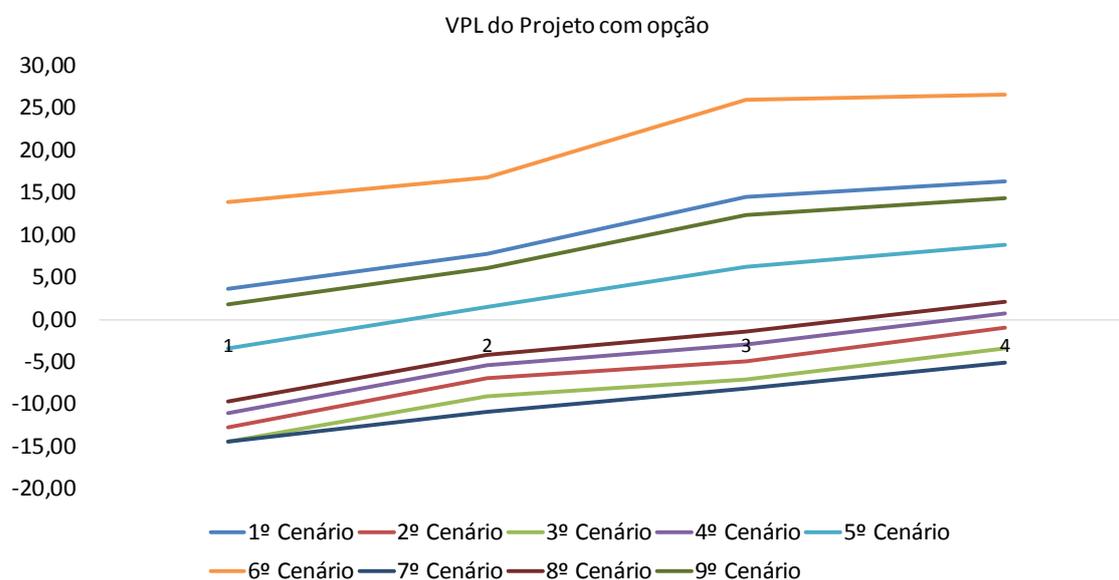


Figura 28: VPL para cada cenário.

## 6

### Conclusão

Esse trabalho teve como objetivo verificar se a aplicação da teoria das opções reais, aplicada a um projeto de implantação de infraestrutura de postos de recarga para carro elétrico, agrega valor para a viabilidade do mesmo.

Como o tipo de projeto estudado ainda é recente, esse trabalho é um dos primeiros a tratar a sua implementação concomitante com o uso de opções reais. Dessa forma, esse trabalho possui certas delimitações como o uso de premissas iniciais e do modelo de Cox, Ross, & Rubinstein como uma primeira abordagem no uso de opções reais para o tema. Não obstante, o modelo financeiro não considera captação de recursos por terceiros, capital de giro e benefício tributário por diferimento de imposto. Estudos futuros podem desenvolver esses pontos conforme os dados em relação a esse tipo de projeto tornem-se mais abundantes.

Conforme exposto na seção 5, para que o projeto se torne viável, é preciso que a volatilidade das distribuições atribuídas as variáveis de incerteza sejam altas, de forma a agregar valor suficiente ao projeto. No caso do *mark-up* e considerando uma distribuição triangular, os limites superior e inferior precisam ser próximos de 60% e no caso da taxa de utilização e considerando uma distribuição normal, o desvio padrão precisa ser igual ou superior a 3%. No caso do *mark-up*, é fácil auferirmos alguns dados para ver se esse número pode ser viável via medidas governamentais:

- No caso de abono total do PIS, Cofins e ISS, haveria um aumento na receita de cerca de 16,62% ou em um caso hipotético, em que o governo dobrasse as alíquotas, haveria uma queda no mesmo montante de 16,62%. Observa-se que esse intervalo é inferior ao mínimo necessário para que a volatilidade da incerteza agregue valor suficiente ao projeto.
- Caso o governo resolva pagar uma contraprestação ou cobrar algum valor de outorga esse deverá ser na média superior a R\$ 46 milhões ao ano. Esse é o valor, para que na média, a receita do projeto varie mais que 60% em

cada ano. Se comparado ao valor do investimento, é fácil de se observar que esse número não é economicamente viável.

Em relação à modelagem do quanto a mais o consumidor pagaria pelo serviço de acordo com a utilidade percebida é de difícil modelagem, assim como prever o nível de concorrência ou mesmo uma possível guerra de preços.

Com isso, a recomendação desse estudo para trabalhos futuros é que a análise de opções reais para projetos similares seja focada na incerteza em relação a taxa de utilização. Não obstante, especificamente em relação a taxa de utilização a recomendação é que assim que se tenha uma série de dados com um período razoável para análise, sejam realizados testes para verificar qual é a volatilidade da série e qual o melhor movimento estocástico para a sua projeção, de forma a precificar as opções reais de forma mais precisa.

## Referências Bibliográficas

BRANDÃO, Luiz; DYER, James; HAHN, Warren. **Using Binomial Decision Trees to Solve Real-Option Valuation Problems.** Decision Analysis, v.2, n. 2, p 69-88, 2005.

BRANDÃO, Luiz. **Uma Aplicação da Teoria das Opções Reais em Tempo Discreto para Avaliação de um Projeto de Concessão Rodoviária.** (Tese de Doutorado). Departamento de Engenharia Industrial, PUC-Rio, 2002.

BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE. **New Energy Outlook 2015. Global Overview.** 2015.

BORGERTH, Ronaldo. **Privatização no Setor Elétrico: Um estudo dos ganhos de produtividade.** Departamento de Economia, PUC-Rio, p. 26, 2011.

BREALEY, Myers; MYERS, Stewart; ALLEN, Franklin. **Principles of Corporate Finance (10th ed.).** New York, NY: McGraw-Hill/Irwin, 2011.

CHANG, Daniel; ERSTAD, Daniel; LIN, Alicia; TZUN, Chia; TSAO; SNYDER, Jason. **Financial Viability Of Non-Residential Electric Vehicle Charging Stations.** Luskin Center, 2012.

CHARGEPOINT. **Charging Trends.** Corporate Presentation, Maio 2014.

COPELAND, Tom; ANTIKAROV, Vladimir. **Real options: A practitioner's Guide.** Texere, New York: v. 368, 2001.

COX, John; ROSS, Stephen; RUBINSTEIN, Mark. **Option pricing A simplified approach,** p. 230, 1979.

DAMODARAN, Aswath. **Finanças Corporativas: Teoria e Prática.** 2º edição, 2004.

EURELECTRIC. **Charging infrastructure for electric vehicles: A EURELECTRIC position paper,** p. 3, 2016.

HADDADIAN, Ghazale, KHODAYAR, Mohammad. **Accelerating the Global Adoption of Electric Vehicles: Barriers and Drivers.** The Electricity Journal, p. 57, 2015.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global EV Outlook 2016. Beyond one million electric cars,** 2016.

ITO, Nobuyuki; TAKEUCHI, Kenji; MANAGI, Shunsuke. **Willingness-to-pay for infrastructure investments for alternative fuel vehicles,** p. 7, 2013.

MULLAN, Jonathan; HARRIES, David; BRÄUNL, Thomas; WHITELEY, Stephen. **The technical, economic and commercial viability of the vehicle-to-grid concept.** Energy Policy, 2012.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Transitions to Alternative Vehicles and Fuels.** The National Academies Press, 2013.

NIGRO, Nick; FRADES, Matt. **Business Models for Financially Sustainable EV Charging Networks**. Center for Climate and Energy Solutions, 2015.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. Secretária Especial de Concessões e Parcerias Público-Privadas. **Edital para a Concessão de Uso de Espaço Público, com Encargos de Implantação, Manutenção e Operação do Sistema de Compartilhamento de Veículos Elétricos do Município do Rio de Janeiro – RJ**, 2015.

SCHROEDER, Andreas; TRABER, Thure. **The economics of fast charging infrastructure for electric vehicles**. Energy Policy, 2012.

SAMUELSON, Paul. **Proof that Properly Anticipated Prices Fluctuate Randomly**. Industrial Management Review, p. 44. 1965.

BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE. Disponível em: <<https://about.bnef.com/blog/electric-vehicles-to-be-35-of-global-new-car-sales-by-2040/>> Acesso em: 21/07/2016.

BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com/news/articles/2015-09-09/brooklyn-to-avoid-blackouts-with-utility-disrupting-microgrids>> Acesso em: 20/07/2016.

BLOOMBERG NEW ENERGY FINANCE. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com/features/2016-ev-oil-crisis/>> Acesso em: 23/07/2016.

CHARGEPOINT. Disponível em: <[na.chargepoint.com/charge\\_point](http://na.chargepoint.com/charge_point)> Acesso em: 10/05/2016.

CLEANTECHNICA. Disponível em: <<http://cleantechnica.com/2015/09/27/some-non-tesla-evs-may-finally-get-tesla-supercharger-access/>> Acesso em: 15/06/2016.

CNN. Disponível em: <<http://money.cnn.com/2015/12/23/autos/oil-opeac-demand-electric-cars/>> Acesso em: 10/06/2016.

O GLOBO. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/brasil/brasil-firma-acordo-com-eua-para-eliminacao-do-desmatamento-ilegal-16605764>> Acesso em: 15/07/2016.

PLUGINCARS. Disponível em: <<http://www.plugincars.com/electric-car-quick-charging-guide.html>> Acesso em: 06/09/2016.

TESLA MOTORS. Disponível em: <https://www.teslamotors.com/supercharger> Acesso em: 07/08/2016.

TESOURO DIRETO. Disponível em: <[tesouro.fazenda.gov.br/tesouro-direto](http://tesouro.fazenda.gov.br/tesouro-direto)> Acesso em: 03/09/2016.

# Anexo 1

## DRE

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1512743/CA

R\$ milhões	2.016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
<b>Receita Bruta</b>	-	29,80	35,76	42,91	51,50	61,80	74,16	88,99	106,78	128,14	153,77
<b>Markup Recarga Simples</b>		300%	300%	300%	300%	300%	300%	300%	300%	300%	300%
<b>Markup Recarga Rápida</b>		600%	600%	600%	600%	600%	600%	600%	600%	600%	600%
<b>Postos de Recarga Simples</b>											
Número de Postos		400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Taxa de Utilização		9%	11%	13%	16%	19%	22%	27%	32%	39%	46%
kW consumidos no ano	-	10.406.880	12.488.256	14.985.907	17.983.089	21.579.706	25.895.648	31.074.777	37.289.733	44.747.679	53.697.215
Tarifa R\$/kW	-	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10	2,10
Receita Bruta R\$	-	21.854.448	26.225.338	31.470.405	37.764.486	45.317.383	54.380.860	65.257.032	78.308.438	93.970.126	112.764.151
<b>Postos de Recarga Rápida</b>											
Número de Postos		48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
Taxa de Utilização		9%	11%	13%	16%	19%	22%	27%	32%	39%	46%
kW consumidos no ano	-	1.892.160	2.270.592	2.724.710	3.269.652	3.923.583	4.708.300	5.649.959	6.779.951	8.135.942	9.763.130
Tarifa R\$/kW	-	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20
Receita Bruta R\$	-	7.947.072	9.536.486	11.443.784	13.732.540	16.479.048	19.774.858	23.729.830	28.475.796	34.170.955	41.005.146
<b>Impostos</b>		(4,25)	(5,10)	(6,12)	(7,34)	(8,81)	(10,57)	(12,68)	(15,22)	(18,26)	(21,91)
<b>PIS/Cofins</b>	-	(2,76)	(3,31)	(3,97)	(4,76)	(5,72)	(6,86)	(8,23)	(9,88)	(11,85)	(14,22)
<b>ISS</b>	-	(1,49)	(1,79)	(2,15)	(2,57)	(3,09)	(3,71)	(4,45)	(5,34)	(6,41)	(7,69)
<b>Receita Líquida</b>		25,55	30,67	36,80	44,16	52,99	63,59	76,31	91,57	109,88	131,86
<b>Despesas e Custos totais</b>	-	(26,51)	(28,23)	(30,29)	(32,77)	(35,75)	(39,32)	(43,60)	(48,75)	(54,92)	(62,32)
<b>Despesas</b>	-	(4,00)	(4,00)	(4,00)	(4,00)	(4,00)	(4,00)	(4,00)	(4,00)	(4,00)	(4,00)
<b>Custos Fixos</b>											
Postos de Recarga Simples											
Manutenção	-	(9,50)	(9,50)	(9,50)	(9,50)	(9,50)	(9,50)	(9,50)	(9,50)	(9,50)	(9,50)
Seguro	-	(1,58)	(1,58)	(1,58)	(1,58)	(1,58)	(1,58)	(1,58)	(1,58)	(1,58)	(1,58)
Postos de Recarga Rápida											
Manutenção	-	(2,41)	(2,41)	(2,41)	(2,41)	(2,41)	(2,41)	(2,41)	(2,41)	(2,41)	(2,41)
Seguro	-	(0,40)	(0,40)	(0,40)	(0,40)	(0,40)	(0,40)	(0,40)	(0,40)	(0,40)	(0,40)
<b>Opex</b>											
Postos de Recarga Simples											
Gasto com Energia	-	(7,28)	(8,74)	(10,49)	(12,59)	(15,11)	(18,13)	(21,75)	(26,10)	(31,32)	(37,59)
Postos de Recarga Rápida											
Gasto com Energia	-	(1,32)	(1,59)	(1,91)	(2,29)	(2,75)	(3,30)	(3,95)	(4,75)	(5,70)	(6,83)
<b>EBITDA</b>		(0,95)	2,44	6,50	11,38	17,24	24,27	32,70	42,82	54,97	69,54
<b>Depreciação</b>	-	(9,93)	(9,93)	(9,93)	(9,93)	(9,93)	(9,93)	(9,93)	(9,93)	(9,93)	(9,93)
<b>EBT</b>	-	(10,88)	(7,49)	(3,42)	1,46	7,32	14,34	22,78	32,90	45,04	59,61
<b>IR/CS</b>	-	-	-	-	(0,50)	(2,49)	(4,88)	(7,74)	(11,18)	(15,31)	(20,27)
<b>Lucro/Prejuízo do Exercício</b>	-	(10,88)	(7,49)	(3,42)	0,96	4,83	9,47	15,03	21,71	29,73	39,34

## Anexo 2

### Fluxo de Caixa

R\$ milhões	2.016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
<b>Fluxo de Caixa</b>	<b>(99,46)</b>	<b>(0,95)</b>	<b>2,44</b>	<b>6,50</b>	<b>10,89</b>	<b>14,75</b>	<b>19,39</b>	<b>24,96</b>	<b>31,64</b>	<b>39,65</b>	<b>49,27</b>
<b>Lucro/Prejuízo do Exercício</b>	-	<b>(10,88)</b>	<b>(7,49)</b>	<b>(3,42)</b>	<b>0,96</b>	<b>4,83</b>	<b>9,47</b>	<b>15,03</b>	<b>21,71</b>	<b>29,73</b>	<b>39,34</b>
<b>Investimentos Postos de Recarga Sin</b>	<b>(79,17)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Posto de Recarga	(79,17)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Investimentos Postos de Recarga Ráp</b>	<b>(20,09)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Posto de Recarga	(20,09)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Investimento escritório</b>	<b>(0,2)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Depreciação</b>	-	<b>9,93</b>	<b>9,93</b>	<b>9,93</b>	<b>9,93</b>	<b>9,93</b>	<b>9,93</b>	<b>9,93</b>	<b>9,93</b>	<b>9,93</b>	<b>9,93</b>
<b>Fluxo de Caixa descontado</b>	<b>(99,46)</b>	<b>(0,85)</b>	<b>1,94</b>	<b>4,63</b>	<b>6,92</b>	<b>8,37</b>	<b>9,82</b>	<b>11,29</b>	<b>12,78</b>	<b>14,30</b>	<b>15,86</b>
Fator de desconto	1,00	0,89	0,80	0,71	0,64	0,57	0,51	0,45	0,40	0,36	0,32