

AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE OPERACIONAL DE VEÍCULO  
HÍBRIDO DIESEL-HIDRÁULICO. UMA APLICAÇÃO À COLETA DE RESÍDUOS  
EM ÁREA URBANA

Leonardo Alencar de Oliveira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes.

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Rio de Janeiro  
Dezembro de 2012

AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE OPERACIONAL DE VEÍCULO  
HÍBRIDO DIESEL-HIDRÁULICO. UMA APLICAÇÃO À COLETA DE RESÍDUOS  
EM ÁREA URBANA

Leonardo Alencar de Oliveira

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO  
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA  
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE  
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE  
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Examinada por:

---

Prof. Márcio de Almeida D'Agosto, D.Sc.

---

Prof<sup>ª</sup>. Suzana Kahn Ribeiro, Dr. Ing.

---

Prof. Elton Fernandes, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

DEZEMBRO DE 2012

Oliveira, Leonardo Alencar

Avaliação da Sustentabilidade Operacional de Veículo Híbrido Diesel-Hidráulico. Uma Aplicação à Coleta de Resíduos em Área Urbana/Leonardo Alencar de Oliveira. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012.

XI, 298 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Márcio de Almeida D’Agosto

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2012.

Referencias Bibliográficas: p. 243-246.

1. Tecnologia Híbrida Diesel-Hidráulica. 2. Coleta de Resíduos. 3. Sustentabilidade. I. D’Agosto, Márcio de Almeida. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

A Deus.  
À minha família: pai, mãe e irmã.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha mãe, quem me ensinou que sem o esforço da busca é impossível a alegria do encontro, sempre me incentivando a alçar voos cada vez mais altos.

Ao meu pai, exemplo de dedicação impecável aos filhos, sendo agente fundamental em minha formação educacional.

À minha irmã, companheira e amiga, presente em todos os momentos de minha vida.

Ao professor Márcio D'Agosto, que orientou com imaculável maestria todos os meus passos para a conquista do título de mestre.

Ao Gian Gomes Marques, pelo apoio incondicional durante todo o trabalho.

À COMLURB, em especial ao Sr. Renato Simões, pela incomensurável ajuda no fornecimento de dados e informações.

A todos os professores e funcionários do Programa de Engenharia de Transportes da COPPE/UFRJ.

Aos amigos que fiz na COPPE, com os quais aprendi a enxergar a engenharia sob diferentes pontos de vista.

A todos aqueles que, de alguma forma especial, contribuíram para a elaboração deste trabalho e dividem comigo, a felicidade de mais um sonho realizado.

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

AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE OPERACIONAL DE VEÍCULO  
HÍBRIDO DIESEL-HIDRÁULICO. UMA APLICAÇÃO À COLETA DE RESÍDUOS  
EM ÁREA URBANA

Leonardo Alencar de Oliveira

Dezembro/2012

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Programa: Engenharia de Transportes

O desenvolvimento de tecnologias que aumentem a eficiência energética dos veículos está diretamente relacionado à necessidade de redução de custos, como forma de adquirir vantagens competitivas, e ao apelo pelo crescimento sustentável, com o foco voltado para soluções que também considerem a questão ambiental e gerem benefícios à sociedade. É nesse contexto que se insere a tecnologia híbrida diesel-hidráulica, capaz de reduzir o consumo de combustível e a emissão de poluentes atmosféricos dos veículos.

As pesquisas direcionadas para essa tecnologia estão crescendo rapidamente nos últimos anos, assumindo um posicionamento estratégico na indústria automotiva, com aplicações em carros de passeio, ônibus, veículos de transporte de carga e até caminhões de coleta de resíduos. Como forma de avaliar a viabilidade financeira e ambiental de se utilizar um sistema de propulsão híbrido diesel-hidráulico, esta dissertação propõe uma primeira abordagem para este estudo, com a elaboração de um método de análise, que será aplicado à frota de caminhões de coleta de resíduos em área urbana da Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB), do Rio de Janeiro.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

AN ANALYSIS ON DIESEL-HYDRAULIC HYBRID VEHICLE OPERATIONAL  
SUSTAINABILITY. AN APPLICATION TO GARBAGE TRUCKS USED IN  
URBAN AREA

Leonardo Alencar de Oliveira

December/2012

Advisor: Márcio de Almeida D'Agosto

Department: Transports Engineering

The development of technologies that improve vehicle energy efficiency is directly related to the necessity for cost reduction, as a way to obtain competitive advantages, and to achieve sustainable growth, with a focus on solutions that also consider environmental issues and generate benefits to society. It is in this context that the diesel-hydraulic hybrid technology, capable of reducing fuel consumption and air pollutants emissions of vehicles, is being developed.

Research in hydraulic hybrid technology is growing faster in recent years, taking a strategic position in automotive industry, with applications in passenger cars, buses, and garbage trucks. As a manner to evaluate the financial and environmental viability of using a diesel-hydraulic hybrid propulsion system, this essay proposes a first approach for this study, with an analysis method that will be applied to the fleet of garbage trucks of Rio de Janeiro Sanitation Department (COMLURB).

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. APRESENTAÇÃO.....	1
1.2. JUSTIFICATIVA.....	1
1.3. HIPÓTESE E PREMISSAS DA PESQUISA.....	4
1.4. OBJETO DE ESTUDO.....	4
1.5. OBJETIVO DO ESTUDO.....	5
1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	5
2. A TECNOLOGIA DE SISTEMAS DE PROPULSÃO HÍBRIDO DIESEL- HIDRÁULICO.....	7
2.1. INTRODUÇÃO.....	7
2.2. CONCEITOS E HISTÓRICO DOS SISTEMAS HÍBRIDOS HIDRÁULICOS.....	8
2.3. APLICAÇÃO DO SISTEMA DE PROPULSÃO HÍBRIDO HIDRÁULICO.....	12
2.4. SISTEMA HÍBRIDO HIDRÁULICO VERSUS SISTEMA HÍBRIDO ELÉTRICO.....	15
2.5. FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS HÍBRIDOS HIDRÁULICO.....	18
2.5.1. Sistema híbrido hidráulico em série.....	18
2.5.2. Sistema híbrido hidráulico em paralelo.....	19
2.5.3. Diferença entre os sistemas híbridos hidráulicos em paralelo e em série.....	21
2.6. SISTEMA HÍBRIDO DIESEL-HIDRÁULICO EM PARALELO.....	22
2.6.1. Sistema de Frenagem Regenerativa Hidrostática (HRB).....	22
2.6.1.1. Ciclo de trabalho do acumulador.....	25
2.6.1.2. Tipos de HRB.....	26
2.6.1.3. Componentes do sistema HRB.....	28
2.6.1.4. Seleção de veículo e simulação.....	30
2.6.1.5. Vantagens do sistema HRB.....	32
2.6.1.6. Resultados alcançados com o HRB.....	33
2.6.2. Sistema híbrido hidráulico HLA.....	35
2.6.2.1. Resultados alcançados com o HLA.....	36
2.7. OUTROS RESULTADOS DA APLICAÇÃO DE SISTEMAS HÍBRIDOS HIDRÁULICOS.....	37

3. PROCEDIMENTO E METODOLOGIA.....	39
3.1. MÉTODO PARA A ANÁLISE FINANCEIRA.....	39
3.2. MÉTODO PARA A ANÁLISE AMBIENTAL.....	47
4. APLICAÇÃO: O CASO DA COLETA DE RESÍDUOS EM ÁREA URBANA ....	50
4.1. APLICAÇÃO DO MÉTODO PARA ANÁLISE FINANCEIRA.....	50
4.1.1 Coleta de dados experimentais.....	51
4.1.2. Dados dos veículos com compactadores da COMLURB.....	53
4.1.3. Considerações gerais.....	56
4.1.3.1. Indicadores econômicos.....	56
4.1.3.2. Preço do litro do óleo diesel.....	56
4.1.3.3. Valor de revenda do veículo.....	58
4.1.3.4. Custo adicional pela aquisição do sistema híbrido.....	59
4.1.3.5. Venda de crédito de carbono.....	60
4.1.3.6. Valor de revenda do veículo.....	58
4.1.4. Resultados para análise financeira .....	61
4.1.4.1. Veículo com compactador de 19 m <sup>3</sup> .....	62
4.1.4.1.1. Cenário A.1: T = 5 anos e $i_D = 0,027$ (2,7%).....	72
4.1.4.1.2. Cenário A.2: T = 5 anos e $i_D = 0,056$ (5,6%).....	80
4.1.4.1.3. Cenário B.1: T = 4 anos e $i_D = 0,027$ (2,7%).....	86
4.1.4.1.4. Cenário B.2: T = 4 anos e $i_D = 0,056$ (5,6%).....	94
4.1.4.1.5. Cenário C.1: T = 3 anos e $i_D = 0,027$ (2,7%).....	100
4.1.4.1.6. Cenário C.2: T = 3 anos e $i_D = 0,056$ (5,6%).....	108
4.1.4.1.7. Cenário D.1: T = 2 anos e $i_D = 0,027$ (2,7%).....	114
4.1.4.1.8. Cenário D.2: T = 2 anos e $i_D = 0,056$ (5,6%).....	122
4.1.4.1.9. Compilação de resultados para a realidade operacional do veículo.....	128
4.1.4.2. Veículo com compactador de 15 m <sup>3</sup> .....	133
4.1.4.2.1. Cenário A.1: T = 5 anos e $i_D = 0,027$ (2,7%).....	140
4.1.4.2.2. Cenário A.2: T = 5 anos e $i_D = 0,056$ (5,6%).....	142
4.1.4.2.3. Cenário B.1: T = 4 anos e $i_D = 0,027$ (2,7%).....	146
4.1.4.2.4. Cenário B.2: T = 4 anos e $i_D = 0,056$ (5,6%).....	148
4.1.4.2.5. Cenário C.1: T = 3 anos e $i_D = 0,027$ (2,7%).....	151

4.1.4.2.6. Cenário C.2: $T = 3$ anos e $i_D = 0,056$ (5,6%).....	155
4.1.4.2.7. Cenário D.1: $T = 2$ anos e $i_D = 0,027$ (2,7%).....	158
4.1.4.2.8. Cenário D.2: $T = 2$ anos e $i_D = 0,056$ (5,6%).....	161
4.1.4.2.9. Compilação de resultados para a realidade operacional do veículo.....	164
4.1.4.3. Veículo com compactador de $10\text{ m}^3$ .....	165
4.1.4.3.1. Cenário A.1: $T = 5$ anos e $i_D = 0,027$ (2,7%).....	172
4.1.4.3.2. Cenário A.2: $T = 5$ anos e $i_D = 0,056$ (5,6%).....	175
4.1.4.3.3. Cenário B.1: $T = 4$ anos e $i_D = 0,027$ (2,7%).....	177
4.1.4.3.4. Cenário B.2: $T = 4$ anos e $i_D = 0,056$ (5,6%).....	180
4.1.4.3.5. Cenário C.1: $T = 3$ anos e $i_D = 0,027$ (2,7%).....	183
4.1.4.3.6. Cenário C.2: $T = 3$ anos e $i_D = 0,056$ (5,6%).....	187
4.1.4.3.7. Cenário D.1: $T = 2$ anos e $i_D = 0,027$ (2,7%).....	190
4.1.4.3.8. Cenário D.2: $T = 2$ anos e $i_D = 0,056$ (5,6%).....	192
4.1.4.3.9. Compilação de resultados para a realidade operacional do veículo.....	195
4.2. APLICAÇÃO DO MÉTODO PARA ANÁLISE AMBIENTAL.....	197
4.2.1 Dados gerais .....	197
4.2.2. Resultados para a análise ambiental.....	203
4.2.2.1. Frota da COMLURB.....	203
4.2.2.2. Veículo com compactador de $19\text{ m}^3$ .....	204
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	213
5.1. ANÁLISE DA VIABILIDADE FINANCEIRA.....	213
5.1.1. Veículo com compactador de $19\text{ m}^3$ .....	213
5.1.2. Veículo com compactador de $15\text{ m}^3$ .....	227
5.1.3. Veículo com compactador de $10\text{ m}^3$ .....	232
5.2. ANÁLISE DA VIABILIDADE AMBIENTAL.....	237
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS, LIMITAÇÕES E SUGESTÕES.....	239
6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	239
6.2. LIMITAÇÕES.....	240
6.3. SUGESTÕES.....	241

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	243
APÊNDICE I.....	247
APÊNDICE II.....	250
APÊNDICE III.....	253
APÊNDICE IV.....	254
APÊNDICE V.....	256
APÊNDICE VI.....	258
APÊNDICE VII.....	259
APÊNDICE VIII.....	261
APÊNDICE IX.....	263
APÊNDICE X.....	264
APÊNDICE XI.....	266
APÊNDICE XII.....	268
APÊNDICE XIII.....	269
APÊNDICE XIV.....	271
APÊNDICE XV.....	273
APÊNDICE XVI.....	276
APÊNDICE XVII.....	279
APÊNDICE XVIII.....	280
APÊNDICE XIX.....	282
APÊNDICE XX.....	284
APÊNDICE XXI.....	285
APÊNDICE XXII.....	287
APÊNDICE XXIII.....	289
APÊNDICE XXIV.....	290
APÊNDICE XXV.....	292
APÊNDICE XXVI.....	294
APÊNDICE XXVII.....	295
APÊNDICE XXVIII.....	297

# **1. INTRODUÇÃO**

## **1.1. APRESENTAÇÃO**

O avanço do capitalismo, apoiado pelo desenvolvimento industrial e das cidades, permitindo a construção de uma grande infraestrutura urbana, aconteceu em detrimento do meio ambiente. Hoje, porém, percebe-se que o mundo se inclina às causas ambientais, buscando um convívio pacífico com a natureza, de modo que as atividades econômicas possam seguir suas diretrizes e ritmos de crescimento, degradando menos o ambiente natural e promovendo melhorias nas relações sociais. É nesse sentido que a sustentabilidade caminha, embora a passos curtos.

Neste cenário, destacam-se as pesquisas para o aumento da eficiência energética dos veículos de transporte, proporcionando uma redução de custos e uma menor emissão de poluentes atmosféricos. Dentre os projetos em estudo, o sistema de propulsão híbrido diesel-hidráulico tem se desenvolvido bastante na última década, com importantes resultados em países como os Estados Unidos da América (EUA) e a Alemanha (RODRIGUES, 2012).

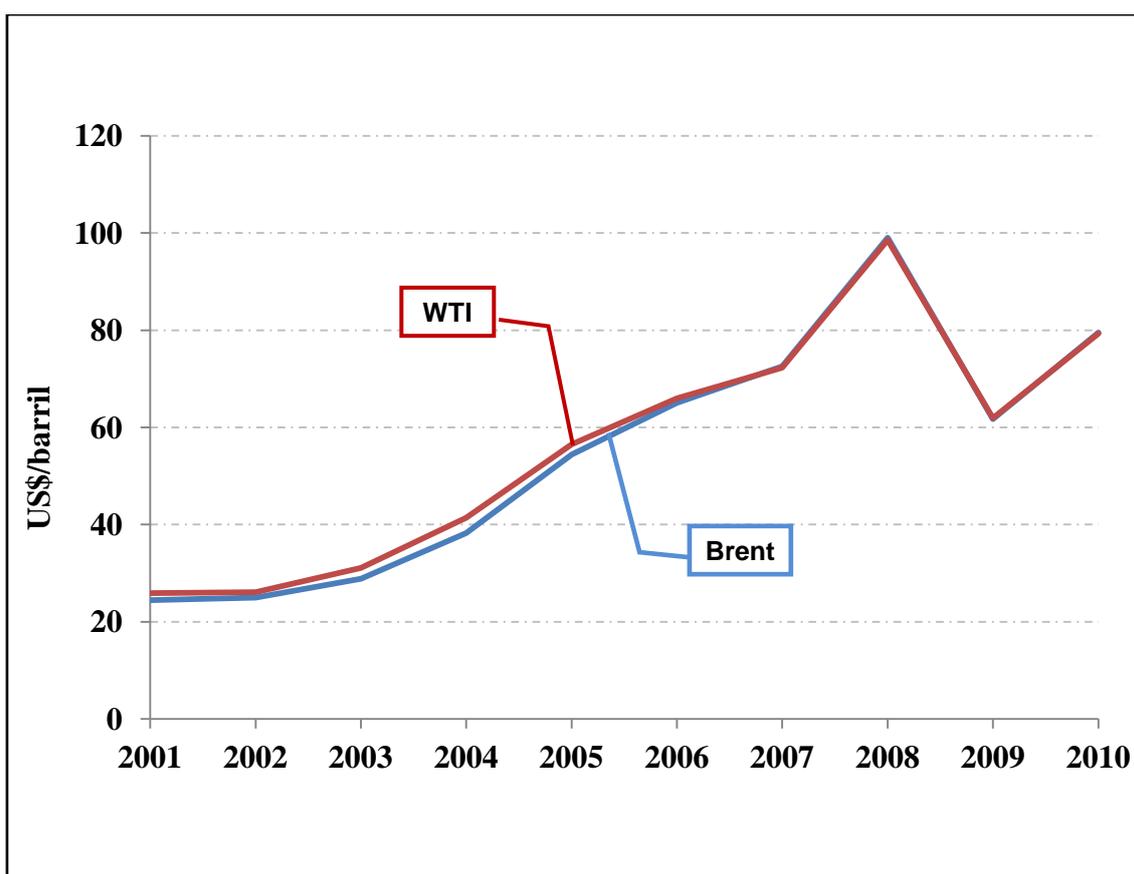
Esta dissertação propõe uma primeira abordagem para o estudo da viabilidade financeira e ambiental de se introduzir a tecnologia do sistema híbrido diesel-hidráulico numa frota de coleta de resíduos em área urbana. A metodologia a ser desenvolvida poderá ser aplicada ao caso de alguma empresa de coleta urbana de resíduos. Em particular, o método será empregado para a frota da Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB), do Rio de Janeiro.

## **1.2. JUSTIFICATIVA**

Segundo a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), o preço médio do petróleo no mercado *spot* aumentou, de 2001 para 2010, cerca de 325% para o petróleo Brent e 307% para o WTI (*West Texas Intermediate*), sendo que, em 2008, foi atingido o pico de aumento de 405% para o Brent e 381% para o WTI, aproximadamente, com relação ao preço praticado no ano de 2001 (ANP, 2011).

Segundo IPEA (2012), entende-se por mercado *spot* como aquele representado pelas *commodities* em que os negócios são realizados com pagamento à vista e entrega imediata de mercadorias. Ainda, Brent é o petróleo extraído no Mar do Norte, sendo referência nas negociações da Bolsa de Valores de Londres, e WTI é aquele produzido nos Estados Unidos, sendo seu preço negociado na Bolsa de Nova Iorque (WOLFFENBÜTTEL, 2012).

A figura 1 ilustra, graficamente, a elevação do preço do petróleo Brent e WTI ao longo da última década.



**Figura 1: Evolução dos preços médios anuais no mercado *spot* dos petróleos Brent e WTI entre 2001 e 2010.**

Fonte: ANP (2011)

De acordo com ANP (2012), o consumo de gasolina registrou um aumento de 18,8% de 2010 para 2011. Foram consumidos 35,452 bilhões de litros em 2011, contra 29,844 bilhões em 2010. Para esse mesmo período, a demanda por óleo diesel cresceu 5,2%, saltando de 49,239 bilhões de litros para 51,782 bilhões.

Com a crescente elevação do preço do petróleo no mundo e aumento da demanda por combustível no Brasil, é de esperar que os preços da gasolina e do óleo diesel subam significativamente nos próximos anos. Dessa forma, ganham cada vez mais importância estudos e pesquisas que objetivam a diminuição do consumo de combustíveis, como: otimização do rendimento de motores a combustão interna, produção de combustíveis alternativos não derivados do petróleo e introdução de novas tecnologias de propulsão híbrida.

O Brasil, por ser um país onde o transporte rodoviário é amplamente utilizado, seja para cargas, como para pessoas, consome grande quantidade de óleo diesel mineral. Como a oferta do mercado interno não é suficiente para cumprir a demanda existente, cerca de 7% do óleo diesel consumido é importado (RODRIGUES, 2012). Dessa forma, verificando-se que as perspectivas de crescimento do país incluem a expansão do transporte rodoviário, fica evidente a necessidade de se implementar novas medidas que reduzam o consumo de óleo diesel, com o objetivo estratégico de diminuir a dependência do mercado externo e contribuir para a melhoria de fatores sociais, econômicos e ambientais.

Os gastos com combustível representam o maior custo variável em operações de transporte rodoviário de carga, com uma parcela de aproximadamente 60% (SILVA, 2006). A redução do consumo de combustível proporciona não só a redução de custo operacional dos veículos, configurando-se como uma importante estratégia em transporte de carga em área urbana, como também a emissão de poluentes atmosféricos, contribuindo para o aumento da qualidade de vida da população e cumprindo as regras e leis ambientais, as quais estão cada vez mais rigorosas.

Sabe-se que no caso de transferência de carga (grandes volumes e grandes distâncias), outros modos de transporte podem ser utilizados, tais como o ferroviário, aquaviário ou dutoviário. Porém, no caso do transporte de carga em área urbana, o modo rodoviário é dominante. Portanto, para esta situação, os ganhos com a redução do consumo de combustível são sensivelmente relevantes.

Nesse caminho, encontra-se o desenvolvimento do sistema de propulsão híbrido diesel-hidráulico que, em linhas gerais, é composto por um motor de combustão interna a óleo

diesel e um sistema de transmissão mecânico, ao qual se acopla uma bomba/motor hidráulico, que recupera parte da energia cinética que seria perdida pelo veículo durante a frenagem. No momento da partida, a energia hidráulica armazenada é descarregada, movendo o caminhão. No Brasil, essa tecnologia está sendo desenvolvida pela MAN Latin America, com aplicação para caminhões utilizados em coleta de resíduos em áreas urbanas, visto que operações do tipo “anda-pára” apresentam, a princípio, melhores ganhos percentuais na redução do consumo de combustível e nos custos de manutenção.

A empresa MAN Latin America já realizou testes operacionais do veículo, dentre os quais foram feitas medições de consumo de combustível. Com essa massa de dados, é possível verificar se o uso do sistema de propulsão híbrido diesel-hidráulico se adequa à operação de transporte de carga em área urbana, especificamente na coleta de resíduos. E a partir dessa primeira avaliação, um estudo sobre a viabilidade financeira e ambiental é feito para conhecer quais as melhores condições de inclusão desta tecnologia neste tipo de operação.

### **1.3. HIPÓTESE E PREMISSAS DA PESQUISA**

Uma das premissas deste trabalho é a importância da redução do custo operacional dos veículos utilizados em transporte de carga nos setores privado e público, como forma de diminuir despesas. Outra premissa deste estudo é que a redução do consumo de combustível de veículos gera benefícios ambientais e diminui a dependência energética do Brasil de importação de óleo diesel.

Como hipótese desta dissertação, considera-se que a tecnologia de propulsão híbrida diesel-hidráulica é viável financeira e ambientalmente, quando utilizada em veículos de transporte de resíduos em área urbana.

### **1.4. OBJETO DE ESTUDO**

O objeto de estudo deste trabalho consiste na operação de coleta de resíduos em área urbana.

## **1.5. OBJETIVO DO ESTUDO**

Analisar a viabilidade financeira e ambiental de se utilizar o sistema de propulsão híbrido diesel-hidráulico em veículos que realizam o transporte de resíduos em área urbana.

## **1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO**

Este trabalho está estruturado em seis capítulos e vinte e oito Apêndices.

### **CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO**

A introdução apresenta o tema do trabalho, bem como as justificativas, hipóteses e premissas consideradas. Também identifica o objeto de estudo, os objetivos e a estrutura da dissertação.

### **CAPÍTULO 2 – A TECNOLOGIA DE SISTEMAS DE PROPULSÃO HÍBRIDO DIESEL-HIDRÁULICO**

Este capítulo fornece o conceito, a evolução histórica, as vantagens e desvantagens e as aplicações desta tecnologia. Ainda, explicita os valores esperados para o investimento adicional e a redução de consumo e dos custos de manutenção com o uso desse sistema. Para isso, realizou-se uma revisão bibliográfica e documental sobre as experiências internacionais e nacionais sobre o uso desta tecnologia.

### **CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTO E METODOLOGIA**

Neste capítulo, são definidos o modo como foi realizada a coleta de dados e a metodologia empregada para a avaliação financeira e ambiental da tecnologia em estudo. Para cada avaliação, é elaborado um método, para o qual são considerados determinados valores para variáveis introduzidas nestes métodos.

O procedimento proposto para esta avaliação envolve a construção de planilhas de custos, no caso do estudo de viabilidade financeira, e de planilhas de quantidades emitidas de poluentes atmosféricos, para se efetuar a análise ambiental. As características operacionais do veículo são consideradas nas duas situações.

## **CAPÍTULO 4 – APLICAÇÃO: O CASO DA COLETA DE RESÍDUOS EM ÁREA URBANA**

Este capítulo apresenta a aplicação da metodologia proposta para o caso de uma empresa de coleta de resíduos em área urbana, a COMLURB, utilizando-se seus dados de operação logística. Em especial, para o método de análise financeira, são propostos oito cenários que se diferenciam pelo tempo de renovação da frota e pela taxa anual de aumento do preço do óleo diesel.

Para este trabalho, foi considerado o caminhão Volkswagen, modelo 24.280, que utiliza a tecnologia híbrida diesel-hidráulica e é equipado com um compactador de lixo de 19 m<sup>3</sup>. Com o objetivo de se estudar a possibilidade de introduzir a referida tecnologia em outros veículos de coleta urbana de resíduos da frota da COMLURB, extrapola-se a aplicação do método de análise financeira para os veículos com unidades compactadoras de 10 e 15 m<sup>3</sup>. Já para a análise ambiental, aplica-se o método para toda a frota da empresa, além do caminhão híbrido modelo 24.280.

## **CAPÍTULO 5 – ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Neste capítulo, são analisados os resultados obtidos com a aplicação da metodologia ao caso de uma empresa de coleta de resíduos em área urbana, verificando-se a viabilidade financeira e ambiental de se introduzir a tecnologia na coleta de resíduos na área urbana da cidade do Rio de Janeiro.

## **CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS, LIMITAÇÕES E SUGESTÕES**

Este capítulo é destinado às considerações finais a respeito da metodologia desenvolvida no capítulo 3, do estudo de caso realizado no capítulo 4 e da análise de resultados efetuada no capítulo 5. Ainda, são expostas as limitações identificadas no estudo e sugestões de trabalhos futuros.

Ao final, são apresentadas as referências bibliográficas, que servem de base aos capítulos 1 e 2, e fundamentam determinadas definições e considerações realizadas no capítulo 3. Os Apêndices I ao XXVIII apresentam tabelas de resultados obtidos com a aplicação do método de análise financeira para os veículos com compactadores de 10 e 15 m<sup>3</sup> e que são utilizadas para o cálculo dos demais resultados expostos no capítulo 4.

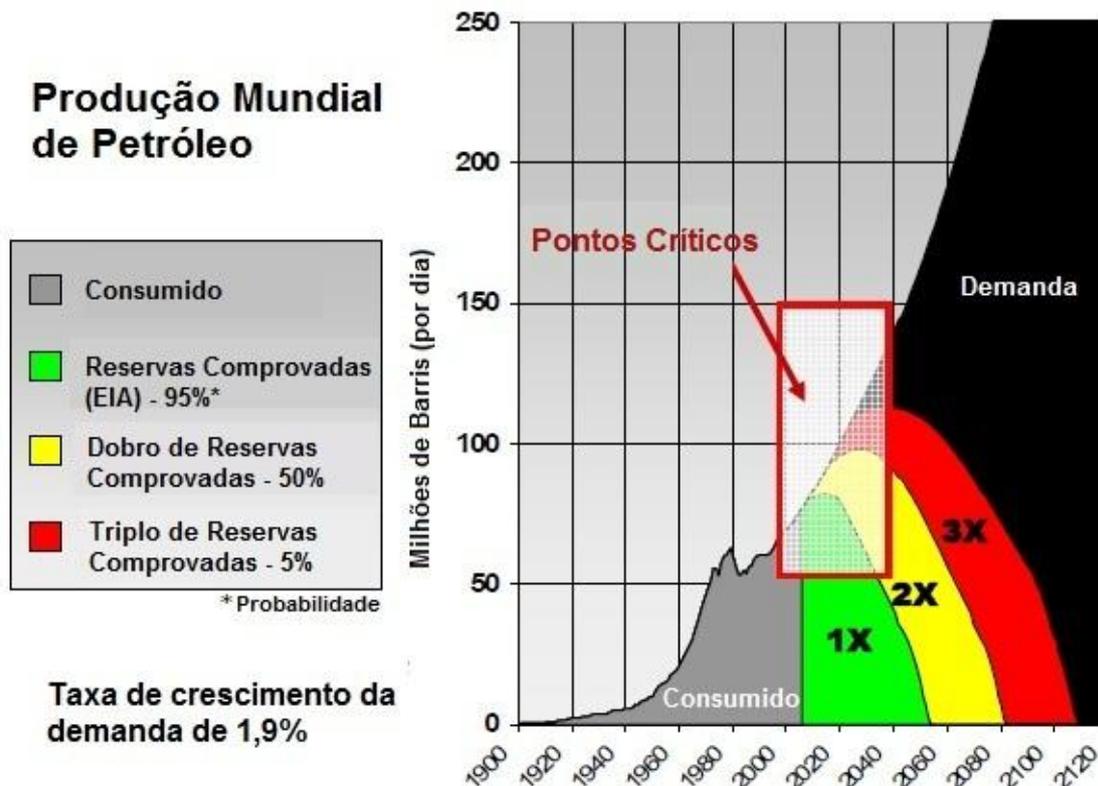
## **2. A TECNOLOGIA DE SISTEMAS DE PROPULSÃO HÍBRIDO DIESEL-HIDRÁULICO**

### **2.1. INTRODUÇÃO**

A crescente concorrência no mercado global e as leis de proteção ambiental cada vez mais rígidas impulsionaram a indústria automobilística a introduzir melhorias significativas na economia de combustível de todas as classes de veículos (WU, B., 2002).

Segundo WU (2002), nos últimos anos, a taxa de consumo de combustível por caminhões aumentou mais que a de veículos de transporte de passageiros. Isto é uma consequência de um aumento no número de caminhões leves, assim como a maior demanda por transporte de mercadorias. No caso dos caminhões, a seleção de novas tecnologias é um pouco limitada em comparação com a de automóveis. Isto porque os caminhões mais pesados já fazem uso de motores a diesel muito eficientes e o potencial para a redução de peso e arrasto do ar é restringido pelos requisitos de transporte de carga útil impostos em projeto.

Assim, avançadas tecnologias de propulsão híbrida são fundamentais para se atingir as metas de economia de combustível para caminhões e outros veículos também (WU, B., 2002). Como pode ser observada na figura 2, considerando-se um cenário otimista, cuja probabilidade de ocorrência é de somente 5%, a quantidade real de reservas de petróleo comprovadas será três vezes maior que a quantidade estimada. Assim, a produção mundial de petróleo não será suficiente para suprir a demanda por volta do ano de 2030.

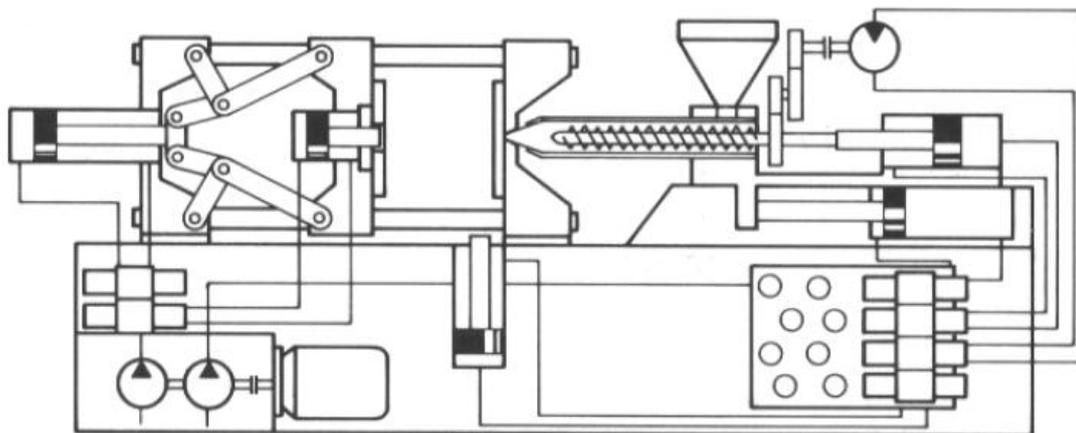


**Figura 2: Projeção da produção mundial de petróleo ao longo do tempo**  
 Fonte: Elaboração do autor baseado em Gray (2006)

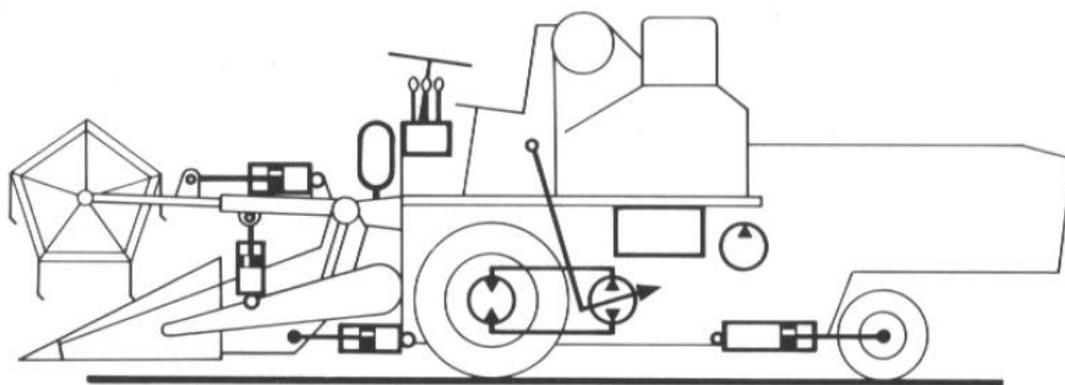
## 2.2. CONCEITOS E HISTÓRICO DOS SISTEMAS HÍBRIDOS HIDRÁULICOS

Segundo Michaelis, a palavra “híbrido” tem origem latina (hibrida ou hybrida) e representa, como um de seus significados, aquilo que está composto de elementos distintos ou incôngruos. No caso de uma propulsão híbrida utilizada em veículos, tem-se a conjugação de duas formas de energia diferentes, uma oriunda da queima de um combustível fóssil e outra elétrica ou hidráulica.

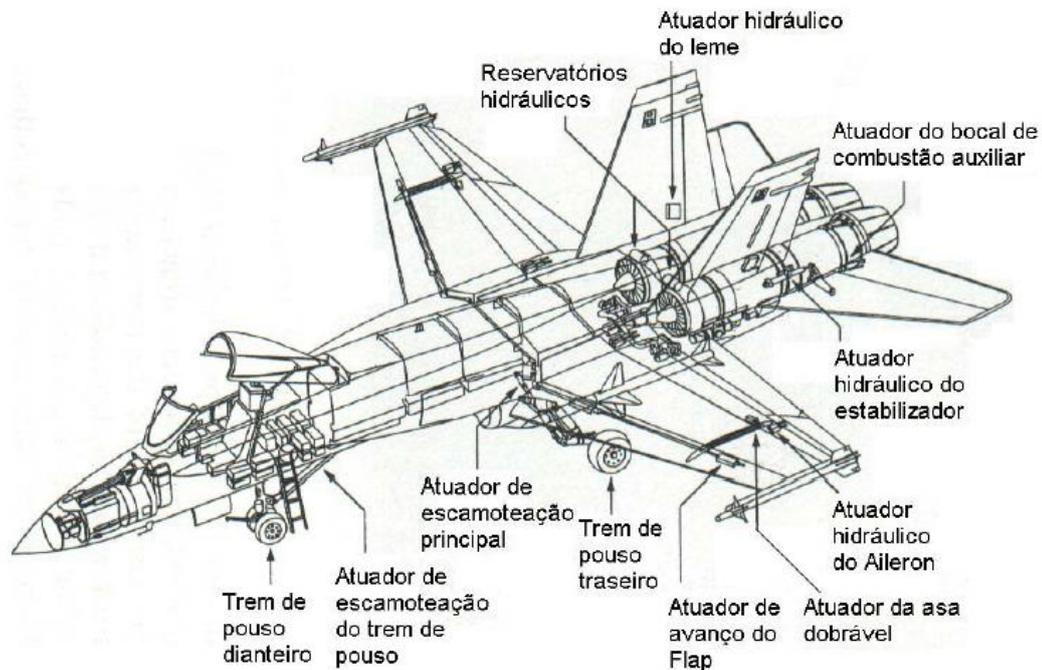
Os sistemas hidráulicos constituem uma aplicação prática da mecânica dos fluidos, embasando o desenvolvimento de componentes e circuitos, como bombas, motores, válvulas, reservatórios, acumuladores, entre outros. Possuem vasta aplicação, desde máquinas industriais, como injetoras e prensas, até veículos e aeronaves, como mostram as figuras 3, 4 e 5.



**Figura 3: Máquina injetora hidráulica**  
 Fonte: De Negri (2001)



**Figura 4: Aplicação da hidráulica em máquinas agrícolas**  
 Fonte: De Negri (2001)



**Figura 5: Sistemas hidráulicos na aviação**  
 Fonte: De Negri (2001)

Segundo Rodrigues (2010), a tecnologia hidráulica envolvida nestes equipamentos permite que os sistemas utilizados trabalhem com pressões de até 350 bar. Em certas aplicações, esses valores podem chegar a 630 bar.

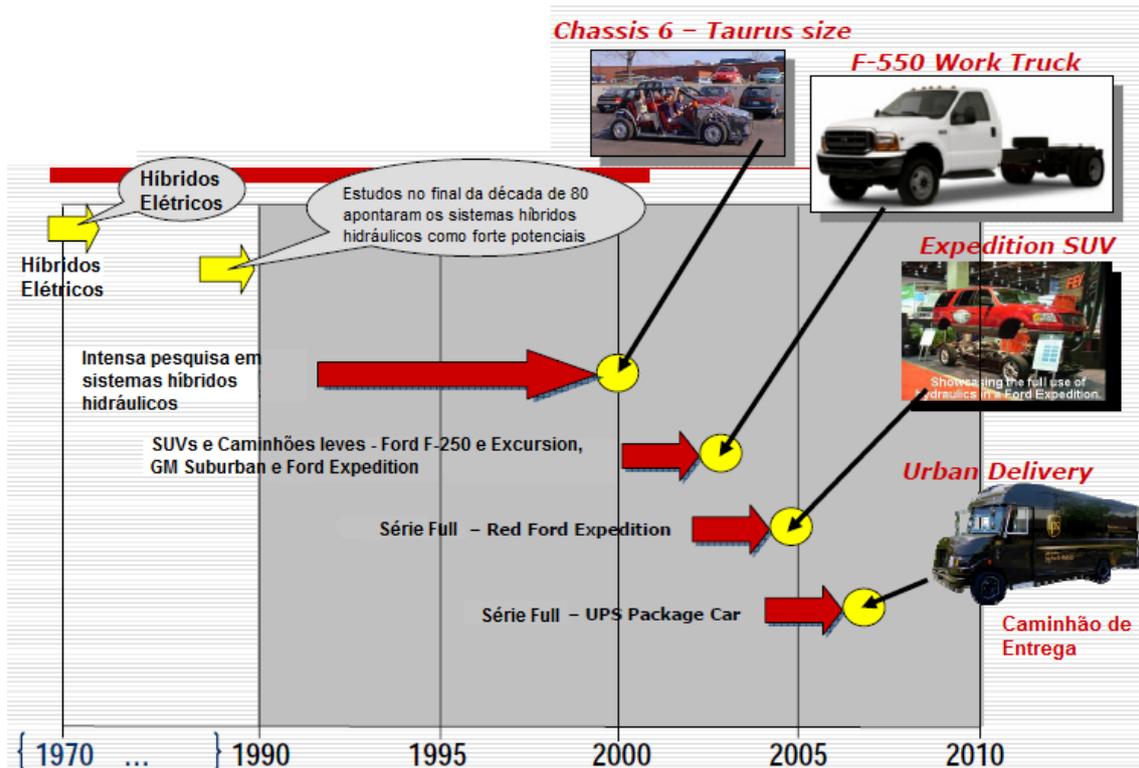
Os sistemas híbridos hidráulicos utilizam componentes responsáveis pelo deslocamento e controle de fluido pressurizado para a realização de trabalho. Em linhas gerais, esses sistemas captam uma parcela da energia que seria dissipada durante a frenagem do veículo, transformando-a em energia potencial hidráulica capaz de auxiliar a tração do veículo no momento de sua aceleração.

Assim como os demais sistemas de propulsão híbrida, no híbrido hidráulico o motor a combustão opera preferencialmente nos pontos onde sua eficiência é alta (BASELEY *et al.*, 2007). Isto permite uma redução no consumo de combustível e na emissão de gases poluentes para a atmosfera. Nos pontos onde a eficiência do motor é baixa, entra em operação o sistema hidráulico, descarregando a energia armazenada (BASELEY *et al.*, 2007).

De acordo com Rodrigues (2010), os estudos a respeito da tecnologia híbrida hidráulica tiveram início na década de 70. Os países pioneiros no desenvolvimento de pesquisas nessa área foram os Estados Unidos (EUA), com a Agência de Proteção Ambiental (EPA) incentivando investimentos nessa nova tecnologia, e a Alemanha, com incentivos do governo na realização de testes em veículos de coleta de resíduos e ônibus.

Segundo Baseley *et al.* (2007), na década de 1980, testes realizados por fabricantes de ônibus demonstraram que os sistemas de freio hidrostáticos eram promissores. Usando esta tecnologia, a Volvo produziu um ônibus com um sistema de acumulador hidráulico que reduziu o consumo de combustível em 30 a 35%. Também em meados dos anos 80, as empresas MAN e Rexroth realizaram o *retrofit* de um ônibus com um sistema de freios regenerativo hidráulico, que convertia quase toda a energia cinética da frenagem em energia potencial hidráulica, utilizando um acumulador hidráulico de alta pressão e um pistão axial. Durante a operação do veículo, observou-se uma redução de 20% no consumo de combustível.

De 1994 a 2006, foram mais de 165 milhões de dólares gastos pelo governo americano e parceiros industriais na tecnologia de propulsão híbrida hidráulica (GRAY, 2006). A figura 6 mostra a evolução cronológica nas duas últimas décadas dos modelos de veículos americanos com sistemas híbridos hidráulicos.



**Figura 6: Evolução cronológica dos modelos de veículos híbridos hidráulicos fabricados nos EUA**  
 Fonte: Elaboração do autor baseado em Gray (2006)

Segundo Rodrigues (2010), em 2003, foi instalado um sistema de freio regenerativo hidráulico em um caminhão Ford F-550, obtendo-se uma economia de combustível de 20 a 30%. Como resultado, esse projeto recebeu a premiação do Michelin Bibendum Challenge 2003, concorrendo na categoria economia e performance de combustível (RODRIGUES, 2010).

Em 2006, um ônibus do Exército americano, modelo Ford E450, ilustrado na figura 7, recebeu o sistema híbrido hidráulico paralelo, alcançando uma economia de combustível de 25% e uma redução de ruído de 6dBA, no momento da aceleração do veículo (BOHLMANN, 2007).

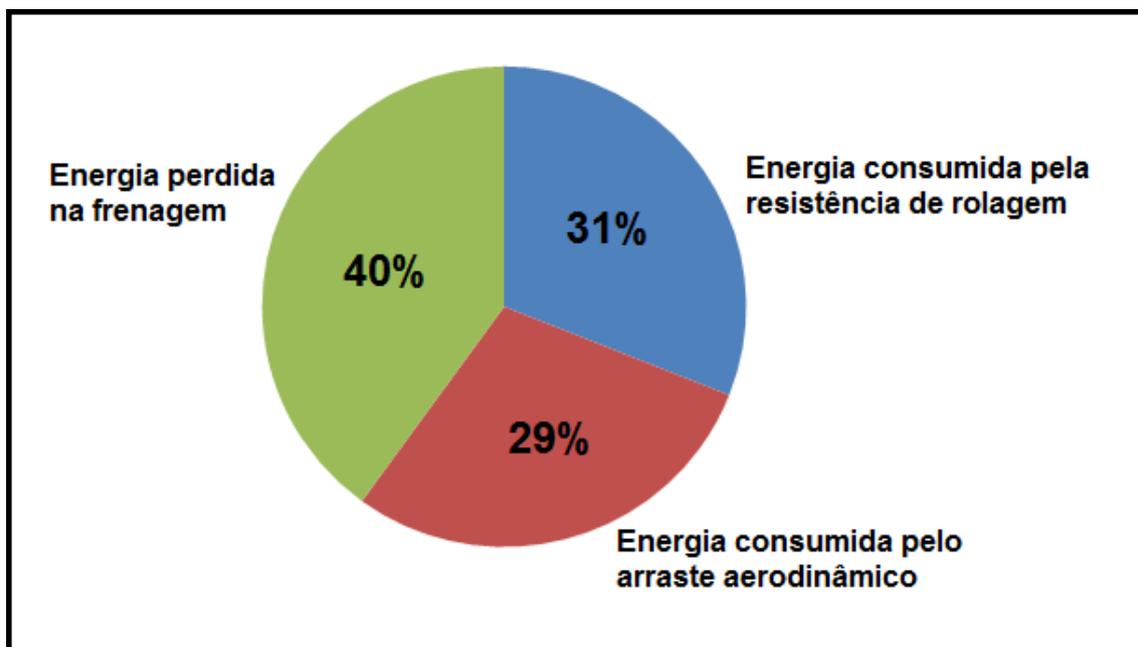


**Figura 7: Caminhão Ford E450**  
Fonte: Bohlmann (2007)

### 2.3. APLICAÇÃO DO SISTEMA DE PROPULSÃO HÍBRIDO HIDRÁULICO

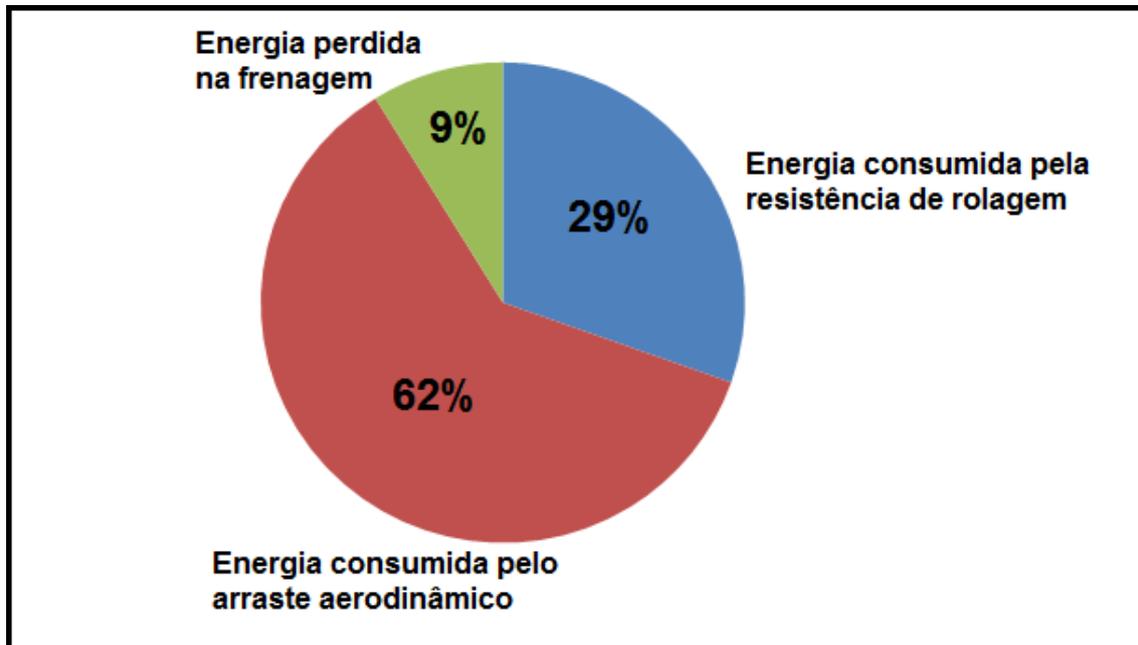
A recuperação de energia de frenagem é especialmente interessante para os veículos que operam em ciclos de partida e parada. Em veículos comerciais, como ônibus urbanos, essa tecnologia já é utilizada há um tempo considerável (BASELEY *et al.*, 2007).

O gráfico da figura 8 apresenta a distribuição do consumo de energia fornecida às rodas de um veículo de 9 toneladas, com ciclo de operação urbano. Cerca de 40% do total da energia que chega às rodas é dissipada durante a frenagem.



**Figura 8: Ciclo de energia entregue às rodas de um veículo de 9 t operando em centros urbanos**  
Fonte: Elaboração do autor baseado em Gray (2006)

Para o mesmo veículo, porém com ciclo de operação fora da cidade (em estradas, por exemplo), a energia dissipada durante a frenagem é de apenas 9% do total de energia que é cedida ao movimento das rodas, como pode ser observado no gráfico da figura 9.

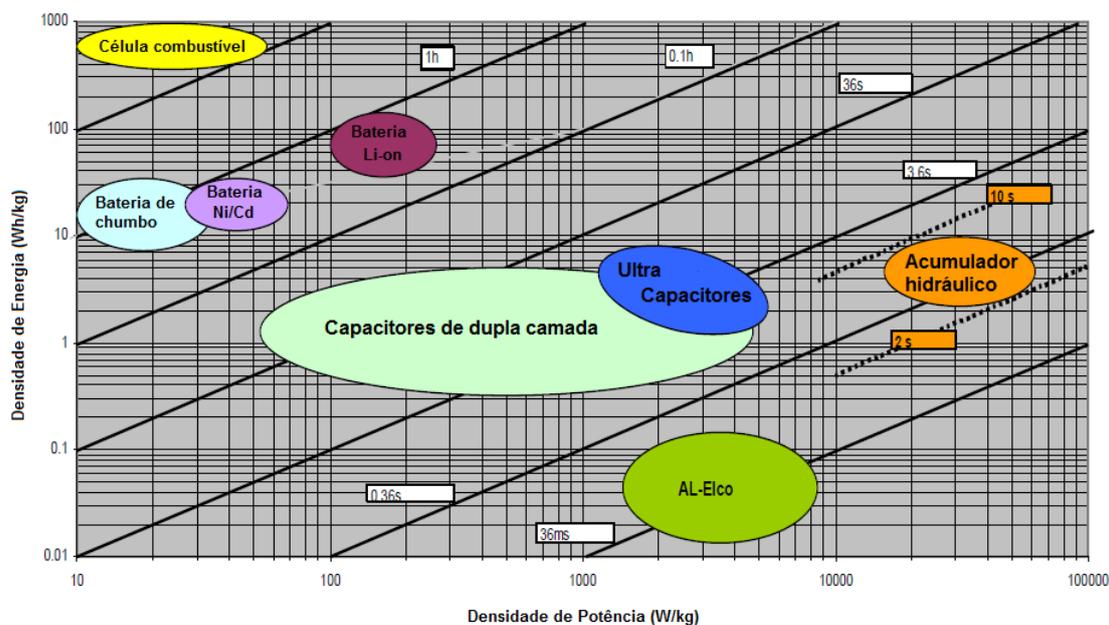


**Figura 9: Ciclo de energia entregue às rodas de um veículo de 9 t operando em estradas**  
Fonte: Elaboração do autor baseado em Gray (2006)

Comparando-se os dois gráficos, fica evidente que o ciclo de operação urbano, com frequência de partida e parada elevada, favorece a introdução da tecnologia de propulsão híbrida hidráulica, recuperando-se parte da energia que seria consumida na frenagem.

O diagrama de Ragone é uma importante ferramenta que possibilita avaliar e relacionar a densidade de potência e de energia de armazenamento para diferentes sistemas. Normalmente esses diagramas consideram o armazenamento elétrico de energia, como capacitores, baterias e células de combustível (RODRIGUES, 2010). A inclusão dos acumuladores hidráulicos é feita com base nos valores de densidade de potência e de energia obtidos de empresas e especialistas que trabalham com esses equipamentos (RODRIGUES, 2010).

A figura 10 apresenta um diagrama de Ragone, em que é possível localizar a região compreendida pelos acumuladores hidráulicos, extraíndo-se propriedades de densidade de potência e de energia.



**Figura 10: Diagrama de Ragone**  
 Fonte: Elaboração do autor baseado em Baseley (2007)

Observa-se, da figura 10, que os acumuladores de energia elétrica apresentam baixa densidade de potência. Isto se deve ao fato de apresentarem elevada resistência interna. Em ciclos de carregamento e descarregamento, a vida útil desses acumuladores se reduz consideravelmente (BASELEY *et al.*, 2007).

Ainda com respeito ao diagrama de Ragone, verifica-se que as baterias, sejam elas de chumbo, Li-on ou Ni/Cd, possuem alta densidade de energia, enquanto que os acumuladores hidráulicos têm elevada densidade de potência. Assim, os acumuladores elétricos tornam-se ideais para a utilização em veículos com regime de operação em que a autonomia é priorizada, ao passo que os hidráulicos, podendo trabalhar com altas taxas de carga e descarga, são mais viáveis para a utilização em veículos comerciais pesados operando em ciclos urbanos, com acelerações e desacelerações frequentes (RODRIGUES, 2010, WU, B., 2002). No entanto, como a densidade de energia é relativamente baixa para os hidráulicos, é importante que uma estratégia de controle seja cuidadosamente elaborada (WU, B., 2002).

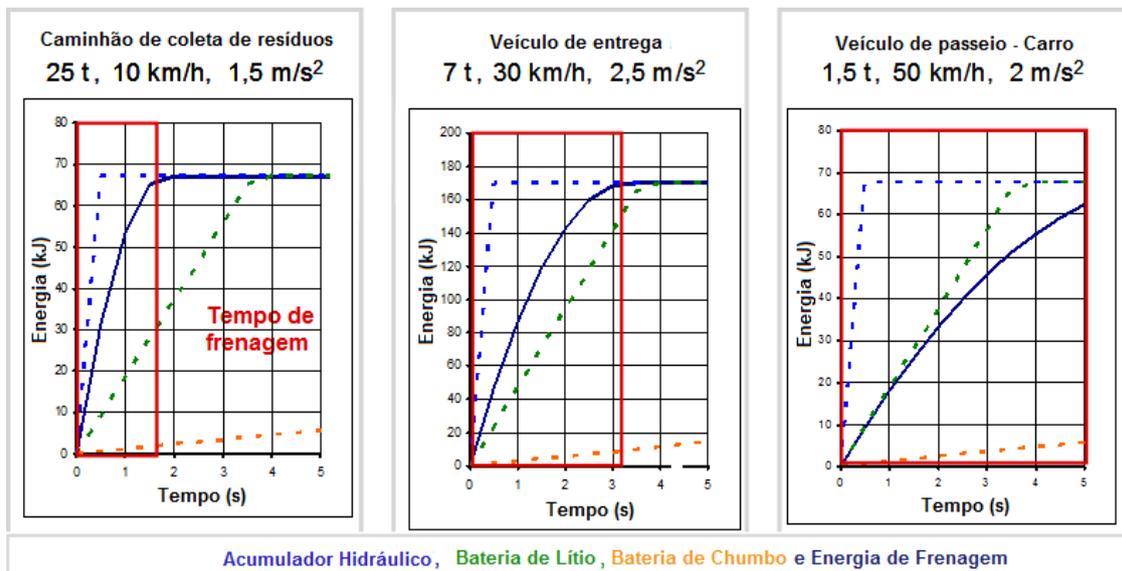
## **2.4. SISTEMA HÍBRIDO HIDRÁULICO VERSUS SISTEMA HÍBRIDO ELÉTRICO**

Segundo Plymell (2008), para veículos grandes, como caminhões de entrega ou de coleta de resíduos, não é comum o uso de sistemas híbridos elétricos, pois estes não conseguem armazenar a quantidade de energia suficiente para fornecer ganhos substanciais na aceleração desses veículos, principalmente no momento em que eles necessitam superar a inércia, partindo do repouso, em um curto espaço de tempo. Essa exigência é típica desses veículos, que operam segundo um regime de partida e parada. Dessa forma, é preferível a utilização de sistemas híbridos hidráulicos, que conseguem armazenar uma quantidade de energia maior em um tempo menor, devido a sua capacidade de armazenar e liberar energia rapidamente.

De acordo com Plymell (2008), em números, os motores hidráulicos conseguem produzir 6.400 W/kg a mais que um motor elétrico. Os acumuladores hidráulicos podem armazenar cerca de 2.350 W/kg a mais que uma bateria elétrica e 500 W/kg a mais que um ultra-capacitor elétrico. Ainda, os sistemas híbridos hidráulicos possuem uma vida útil média de 10 anos ou mais, conseguindo estender a durabilidade de outros componentes do veículo, como os do sistema de freios, enquanto que nos sistemas híbridos elétricos a bateria têm vida útil de 5 anos.

Uma vantagem expressiva encontrada na tecnologia dos sistemas híbridos hidráulicos é a de que, de um modo geral, o custo de instalação desses é baixo a médio, enquanto que o de um sistema híbrido elétrico é médio a alto (PLYMELL, 2008).

A figura 11 permite avaliar a capacidade de armazenamento de energia, que seria dissipada na frenagem, de três diferentes acumuladores (hidráulico, bateria de lítio e de chumbo) para três veículos distintos (caminhão de coleta de resíduos, veículo de entrega e de passeio).



**Figura 11: Capacidade de armazenamento de energia de frenagem dos acumuladores em função do tempo para curvas de frenagem de diferentes tipo de veículo**  
 Fonte: Elaboração do autor baseado em Lindzus (2011)

Para um caminhão de coleta de resíduos, com peso de 25 toneladas, a 10 km/h e desacelerando com 1,5 m/s<sup>2</sup>, tem-se que o acumulador hidráulico é o único que consegue absorver toda a energia de frenagem, num intervalo de tempo de desaceleração total de quase 2 segundos. Este tempo é obtido verificando-se o momento em que cessa o aumento de energia dissipada na frenagem, representado pelo instante em que a curva de frenagem atinge seu patamar máximo, permanecendo constante a partir daí.

Já para um veículo de entrega, com peso de 7 toneladas, a 30 km/h e desacelerando com 2,5 m/s<sup>2</sup>, a bateria de lítio consegue absorver quase a totalidade da energia de frenagem, num intervalo de tempo de pouco mais de 3 segundos. Nota-se que, assim como foi para o caminhão de coleta de resíduos, o acumulador hidráulico absorve toda a energia de frenagem e a bateria de chumbo apresenta uma baixa capacidade de absorção dessa energia para esse tipo de veículo.

Por último, considerando-se um veículo de passeio, um carro por exemplo, a 50 km/h e com uma desaceleração de 2 m/s<sup>2</sup>, tanto o acumulador hidráulico quanto a bateria de lítio conseguem absorver toda a energia de frenagem, considerando-se um tempo total de 5 segundos para esse processo.

Dessa forma, constata-se por meio da interpretação das curvas dos gráficos da figura 11, que o sistema híbrido hidráulico consegue ser igualmente eficiente quando aplicado em veículos pesados e leves com regime de operação de partida e parada frequentes. Já o sistema híbrido elétrico somente alcança resultados satisfatórios em veículos mais leves, com regime de operação contínuo, com desempenho semelhante ao hidráulico na questão de quantidade total de energia de frenagem armazenada.

A figura 12 apresenta uma análise do rendimento dos componentes de um sistema hidráulico, realizada pelo Centro de Pesquisas Automotiva da Universidade de Michigan, para um caminhão de entrega classe 6, isto é, um veículo com peso bruto variando entre 9 e 12 toneladas e, portanto, considerado pesado (GRAY, 2006).

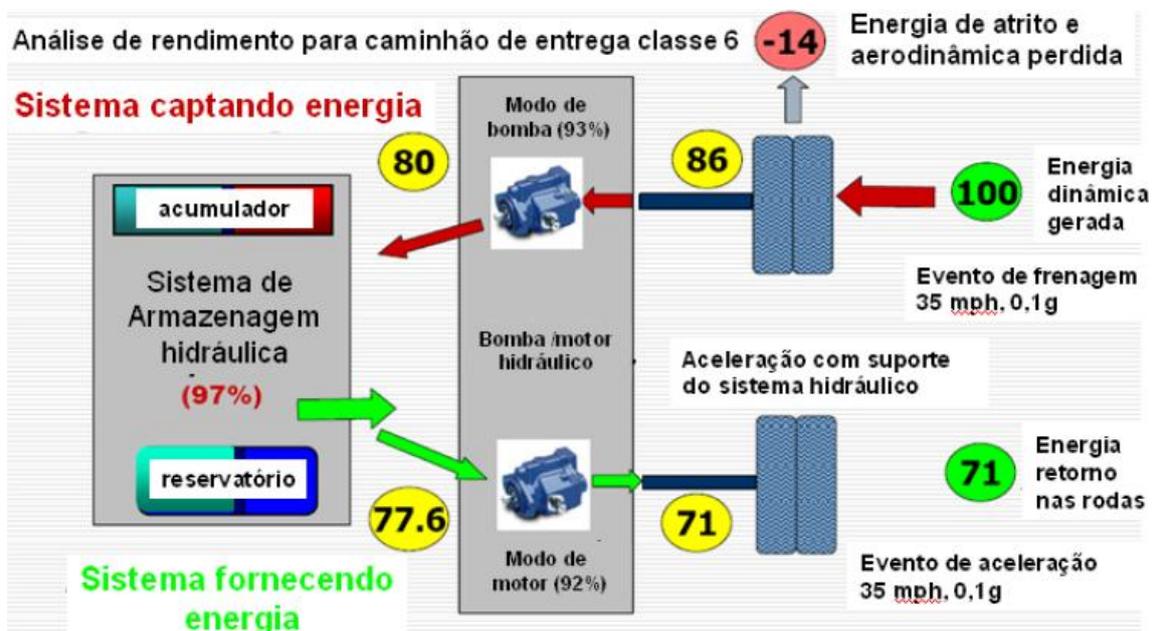


Figura 12: Análise do fluxo de energia através do sistema híbrido hidráulico, considerando-se os rendimentos de seus componentes

Fonte: Elaboração do autor baseado em Gray (2006)

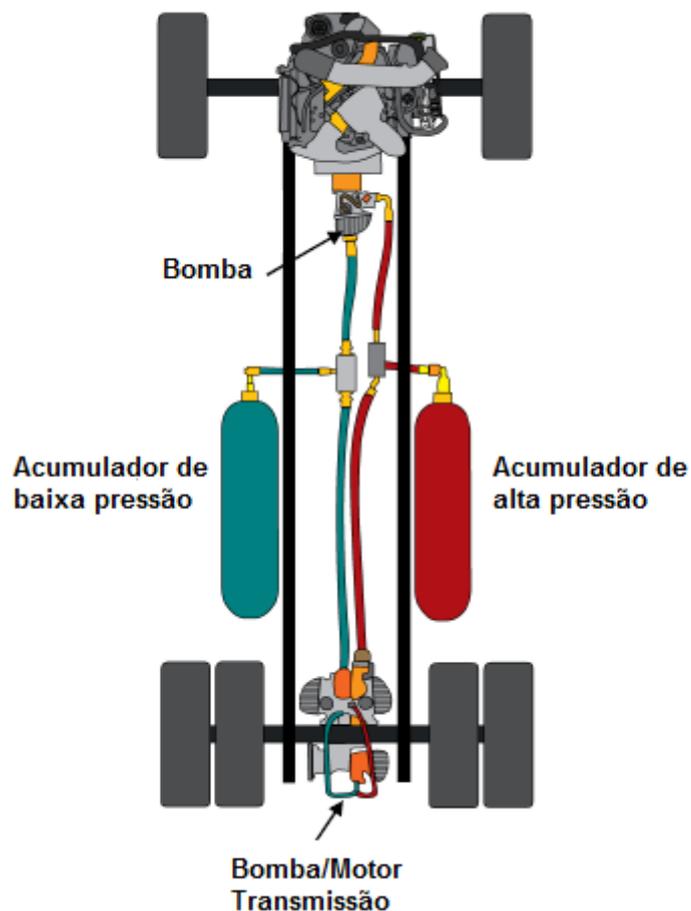
O estudo realizado considera um rendimento de 97% para o sistema de armazenagem hidráulica e de 92 e 93% para o motor e bomba hidráulicos, respectivamente. Isto quer dizer que, parte da energia recuperada do sistema de frenagem é perdida em seu fluxo através do sistema hidráulico. Assim, cerca de 71% da energia que seria perdida durante a frenagem, incluindo perdas por atrito de rolagem e aerodinâmico do caminhão, é entregue às rodas do veículo em seu movimento de aceleração.

## 2.5. FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS HÍBRIDOS HIDRÁULICOS

Existem dois tipos de sistemas híbridos hidráulicos: em série e em paralelo.

### 2.5.1. Sistema híbrido hidráulico em série

Os componentes básicos de um sistema híbrido hidráulico em série são: bomba/motor hidráulicos, acumuladores de alta e baixa pressão e uma transmissão hidráulica. A figura 13 apresenta um esquema ilustrativo desse sistema.



**Figura 13: Sistema híbrido hidráulico em série**

Fonte: Elaboração do autor baseado em Bohlmann (2007)

No sistema híbrido hidráulico em série, a energia mecânica produzida pelo motor a combustão é transferida às rodas do veículo por meio de um sistema de transmissão hidráulica.

Em linhas gerais, o funcionamento desse tipo de sistema consiste em armazenar a energia que seria dissipada durante as frenagens em acumuladores hidráulicos. Essa energia, então, é reutilizada, contribuindo para o movimento de tração do veículo.

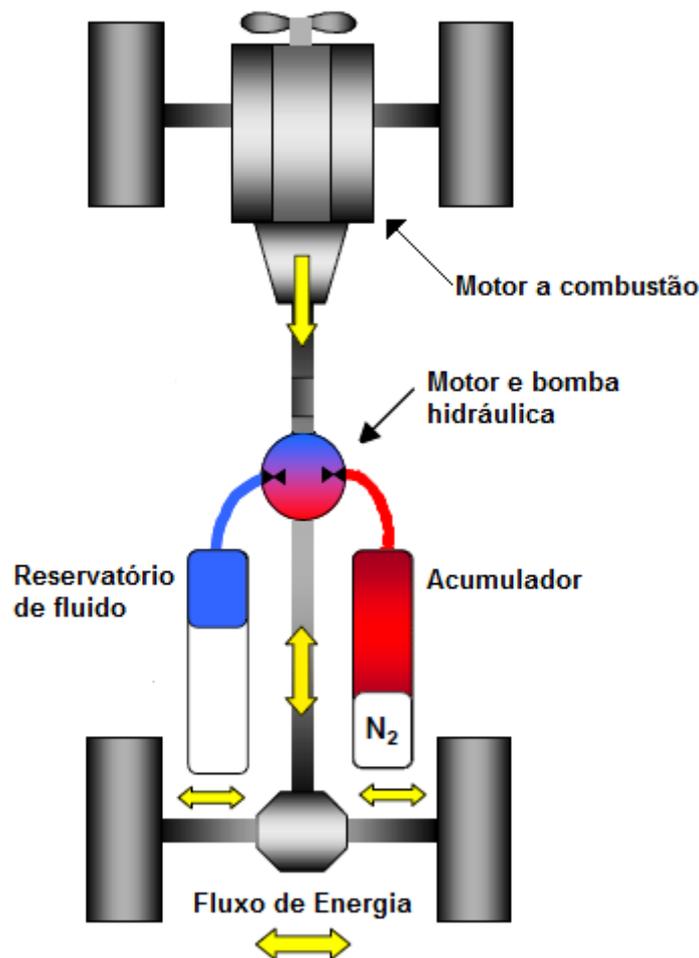
Durante a frenagem do veículo, a bomba/motor hidráulico desempenha o papel de bomba, transferindo o fluido do reservatório de baixa pressão para o acumulador de alta pressão.

O processo de aceleração do veículo pode ser realizado de três formas diferentes: somente com o uso do acumulador, em que a energia hidráulica é transferida do acumulador de alta pressão diretamente para a transmissão; só com o motor a combustão, que se encarrega de transferir torque à bomba hidráulica, a qual desloca o fluido para a transmissão hidráulica, que converte energia hidráulica em mecânica; e com o acumulador e motor a combustão, em que a energia hidráulica provém da bomba hidráulica, conectada ao motor, e do acumulador hidráulico de alta pressão (RODRIGUES, 2010).

Com a utilização do sistema híbrido hidráulico em série, deseja-se que o motor a combustão seja solicitado o mínimo possível, contribuindo para a redução do consumo de combustível e da emissão de poluentes atmosféricos. Portanto, quando o veículo está no início de seu movimento, vencendo a inércia do repouso, usa-se preferencialmente a energia proveniente do acumulador hidráulico de alta pressão, deixando o motor a combustão atuar somente em velocidades mais altas.

### **2.5.2. Sistema híbrido hidráulico em paralelo**

Os componentes básicos de um sistema híbrido hidráulico em paralelo são: bomba/motor hidráulicos, acumulador de alta pressão, reservatório de baixa pressão e embreagem de acoplamento. A figura 14 apresenta um esquema ilustrativo desse sistema.



**Figura 14: Sistema híbrido hidráulico em paralelo**  
 Fonte: Elaboração do autor baseado em Bohlmann (2007)

Segundo Rodrigues (2010), no sistema híbrido hidráulico em paralelo, o sistema de tração do veículo é constituído de um motor a combustão, conectado a uma caixa de transmissão, e eixos responsáveis pela transferência de torque às rodas. Em paralelo a esse sistema, existe um circuito hidráulico composto por bomba/motor, acumuladores e reservatórios, que podem fornecer tração às rodas do veículo com o auxílio de um sistema de embreagem. Neste caso, a energia hidráulica armazenada no acumulador que é utilizada para mover o veículo.

Durante a desaceleração, a embreagem é acionada, acoplando-se ao sistema de tração mecânica do veículo. Por meio da rotação do eixo, é transmitido um torque à bomba/motor hidráulico, que funciona como uma bomba, transferindo fluido hidráulico do reservatório para o acumulador, onde é pressurizado (RODRIGUES, 2010).

O processo de aceleração do veículo pode ser realizado de três formas diferentes: somente com o uso do acumulador, em que o fluido hidráulico pressurizado do acumulador passa pelo componente bomba/motor, o qual atuará como um motor, transferindo torque para as rodas do veículo, auxiliado pelo sistema de embreagem conectado ao sistema de tração mecânica do veículo; só com o motor a combustão, que será o único componente responsável por prover energia para a tração do veículo; e com o acumulador e motor a combustão, associando-se as energias oriundas desses equipamentos para conferir torque às rodas do veículo (RODRIGUES, 2010).

Para que uma redução no consumo de combustível, utilizando-se o sistema híbrido hidráulico em paralelo, seja alcançada, a energia hidráulica dos acumuladores deve ser preferencialmente consumida no início do movimento do veículo, que é o momento que se faz necessária uma maior quantidade de torque. Nessa situação, o motor a combustão pode operar no seu ponto de melhor rendimento.

### **2.5.3. Diferença entre os sistemas híbridos hidráulicos em paralelo e em série**

Usualmente, os sistemas híbridos hidráulicos em paralelo equipam veículos pesados, enquanto que os em série são instalados nos mais leves (MAN, 2011). Segundo Rodrigues (2010), a grande vantagem do sistema em paralelo é que este consegue se adaptar ao veículo, sem exigir grandes alterações no projeto original dele. Já para os sistemas em série, é necessário que o veículo saia de fábrica já com o sistema montado ou, em caso de querer transformar um em híbrido hidráulico, todo o sistema de tração mecânica existente deverá ser removido (RODRIGUES, 2010).

Segundo Gray (2006), outra grande vantagem do sistema em paralelo sobre o em série é que o sistema mecânico de tração convencional é mantido. Dessa forma, caso o sistema hidráulico seja impedido de entrar em funcionamento, o veículo poderá continuar sua operação com o sistema mecânico, garantindo um maior nível de segurança. Por outro lado, mantendo-se os dois sistemas de tração, mecânico e hidráulico, o veículo torna-se mais pesado, provocando uma menor redução no consumo de combustível.

De acordo com Rodrigues (2010), com relação ao retorno ao investimento na tecnologia de propulsão híbrida hidráulica, o sistema em série requer menor tempo que o em

paralelo. Além disso, em série, o sistema híbrido consegue uma maior eficiência na redução da emissão de poluentes.

O fato de o sistema híbrido em série provocar a modificação profunda de todo o sistema de tração do veículo, colabora para a necessidade de um maior número de testes e análises dessa nova tecnologia, visando diminuir as chances de falha operacional (RODRIGUES, 2010). Dessa forma, segundo a EPA, os investimentos futuros serão destinados aos sistemas híbridos hidráulicos em série (GRAY, 2006).

## **2.6. SISTEMA HÍBRIDO DIESEL-HIDRÁULICO EM PARALELO**

É um sistema híbrido hidráulico no qual o sistema de tração convencional é constituído por um motor a óleo diesel. Portanto, conjuga os benefícios inerentes ao uso desse tipo de combustível, com as vantagens em desempenho e economia obtidas com o sistema hidráulico acoplado ao veículo.

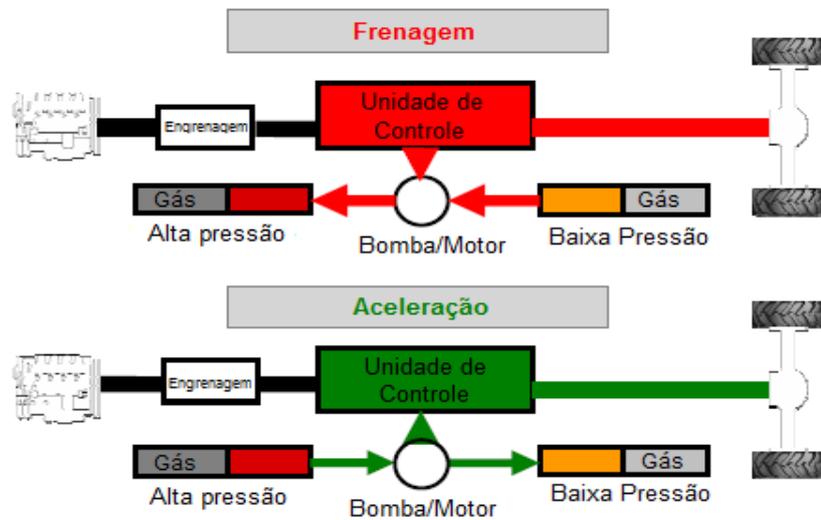
Normalmente, esse sistema de propulsão equipa veículos pesados, com regime de operação urbano, em que partidas e paradas são frequentes, como caminhões de coleta de resíduos e ônibus. Dessa forma, consegue-se extrair o máximo de rendimento que esse sistema pode fornecer, visto que, para um veículo de grande massa que desacelera ativa e fortemente com frequência, uma maior quantidade de energia é acumulada em um período curto de tempo.

### **2.6.1. Sistema de Frenagem Regenerativa Hidrostática (HRB)**

Trata-se de um sistema híbrido hidráulico em paralelo, usualmente aplicado em veículos pesados, com regime de operação caracterizado por ciclos curtos e sucessivos de partida e parada (MAN, 2011). Esse sistema possui componentes que são integrados ao veículo em paralelo ao acionamento convencional, um motor a diesel, constituindo um sistema auxiliar (MAN, 2011).

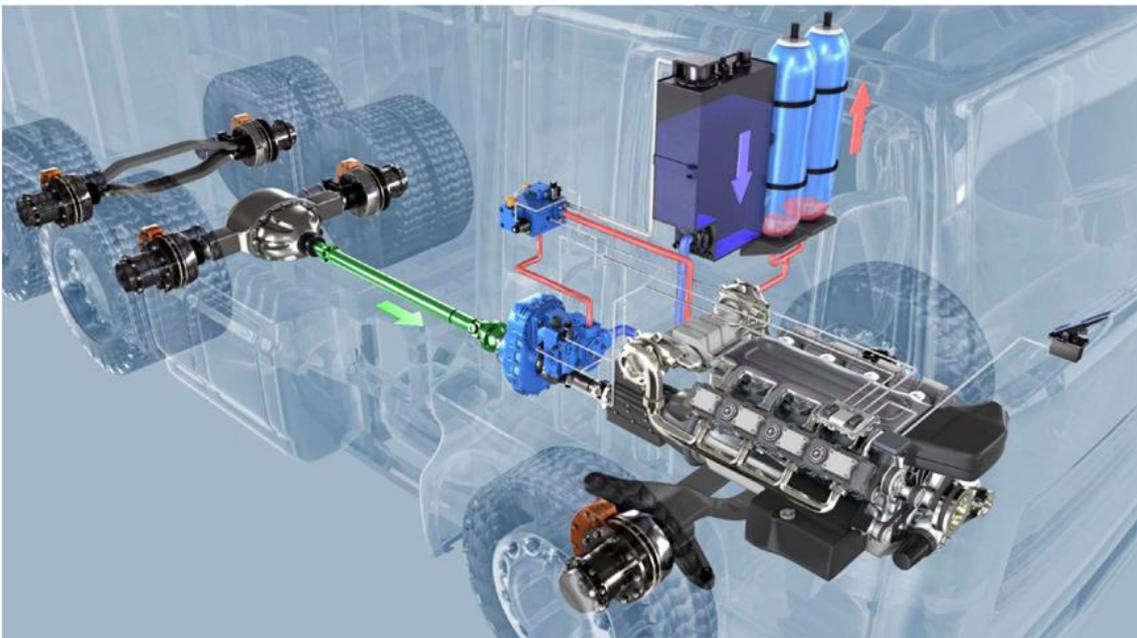
Com o HRB, a energia gasta pelo veículo durante a frenagem, que seria naturalmente dissipada devido às forças de atrito, é parcialmente armazenada nos acumuladores hidráulicos. No momento da aceleração do veículo, essa energia acumulada é utilizada, diminuindo a carga sobre o motor a combustão. Uma grande vantagem desse sistema é a

possibilidade de adaptá-lo a veículos já existentes, dada a simplicidade de seus componentes (BASELEY *et al.*, 2007). A figura 15 ilustra o modo de operação do sistema HRB.

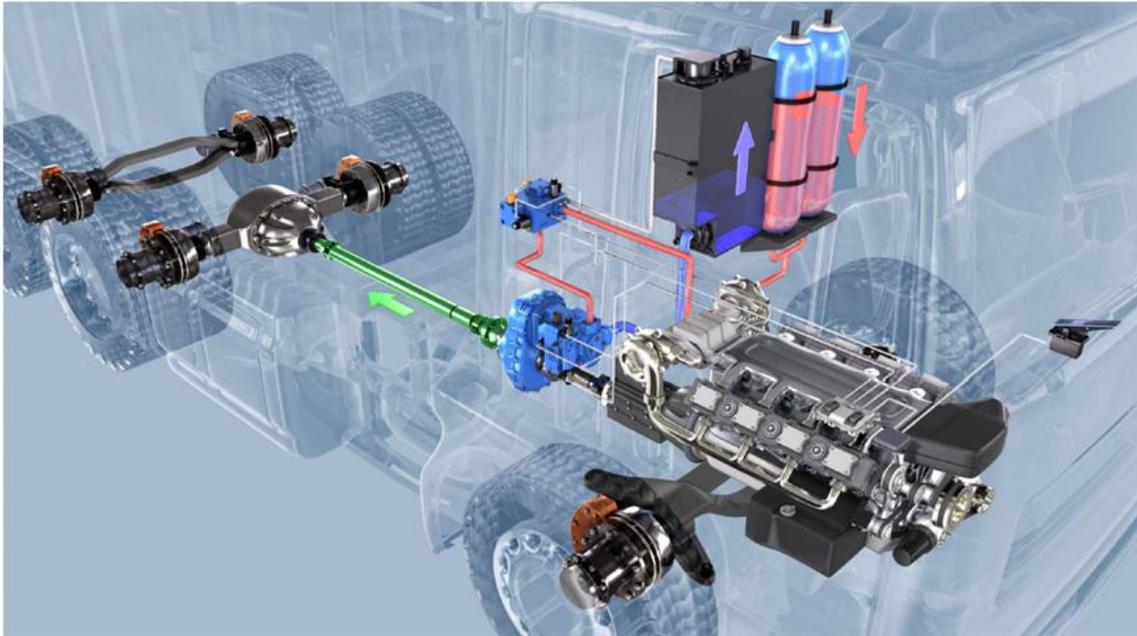


**Figura 15: Modo de operação do sistema HRB**  
 Fonte: Elaboração do autor baseado em Baseley *et al.* (2007)

As figuras 16 e 17 ilustram, respectivamente, a desaceleração (carregamento do acumulador hidráulico) e a aceleração (descarregamento do acumulador) para um sistema HRB.



**Figura 16: Esquema ilustrativo da desaceleração de um veículo equipado com o sistema HRB**  
 Fonte: Lindzus (2011)



**Figura 17: Esquema ilustrativo da aceleração de um veículo equipado com o sistema HRB**  
Fonte: Lindzus (2011)

Segundo Lindzus (2011), um dos maiores desenvolvedores dessa tecnologia é a empresa Bosch Rexroth que, em 2008, apresentou os primeiros protótipos para testes nas cidades de Berlin e Nova Iorque. Em 2009, novos protótipos foram produzidos e, em 2010, mais de 15 veículos já circulavam por quatro cidades no mundo, iniciando a produção em série de veículos equipados com essa tecnologia.

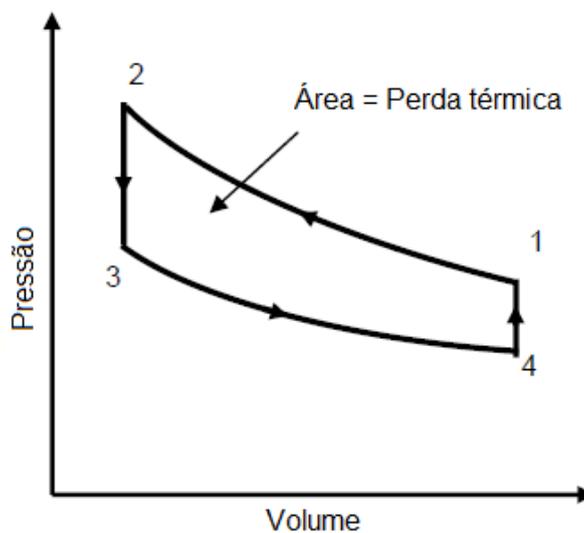
A figura 18 apresenta um gráfico de potência de frenagem versus frequência de frenagem, indicando que os caminhões de lixo são os maiores beneficiados com o sistema HRB.



**Figura 18: Potência de frenagem versus frequência de frenagem**  
 Fonte: MAN (2011)

### 2.6.1.1. Ciclo de trabalho do acumulador

A figura 19 mostra o comportamento do volume e da pressão de um acumulador hidráulico durante um ciclo completo de carga/descarga, para um sistema híbrido hidráulico.



**Figura 19: Processo de carga e descarga para o acumulador hidráulico**  
 Fonte: Elaboração do autor baseado em Baseley *et al.* (2007)

1 → 2: Carga do acumulador: o fluido hidráulico é bombeado para o acumulador, aumentando a pressão do gás por meio de sua redução de volume. Esse processo provoca um aumento de temperatura do gás.

2 → 3: Fase de repouso: o gás libera calor para o ambiente externo e a pressão diminui, enquanto o volume permanece constante.

3 → 4: Descarga do acumulador: A pressão no interior do acumulador diminui à medida que o gás se expande, diminuindo sua temperatura.

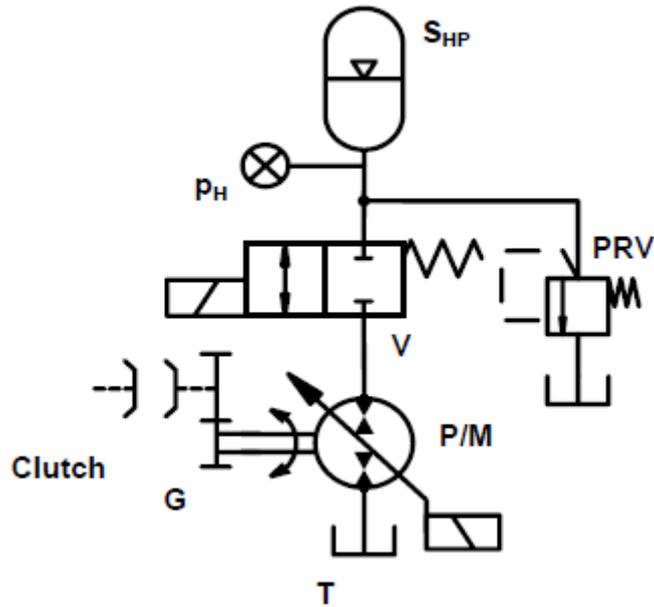
4 → 1: Fase de repouso: A pressão do gás aumenta à medida que calor ambiente é absorvido. A área sob a curva da figura 19 representa a perda de eficiência térmica do ciclo.

De acordo com Baseley *et al.* (2007), na prática, eficiências térmicas entre 80 e 90% (energia que sai dividido pela energia que entra) podem ser alcançadas, dependendo do tempo de carga/descarga do acumulador. Esses valores de eficiência são consideravelmente melhores que os obtidos nos sistemas de baterias elétricas.

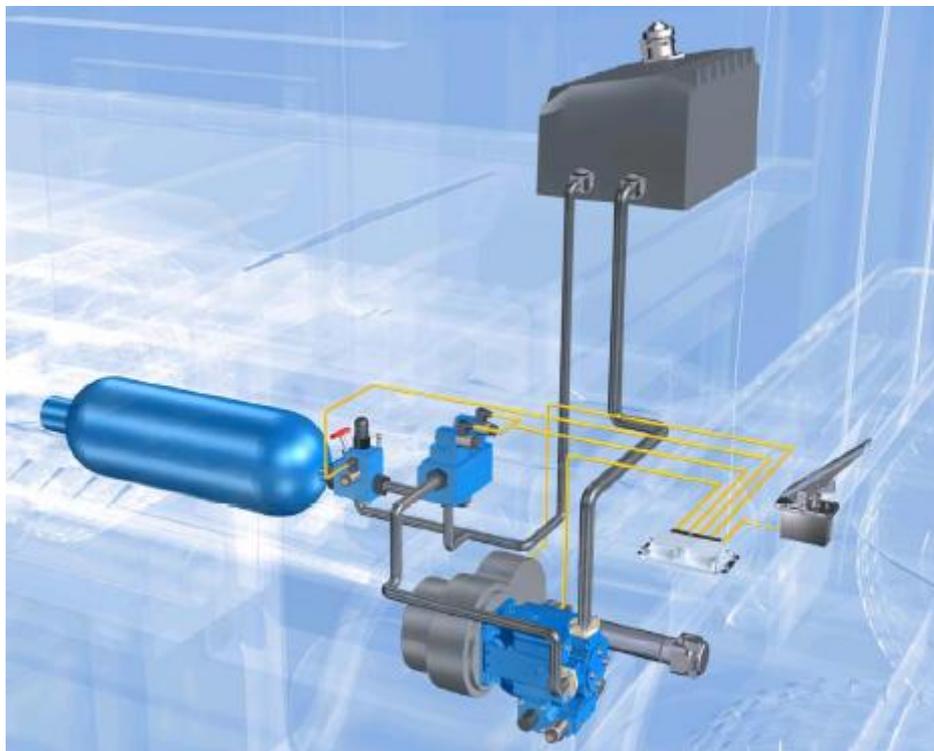
#### **2.6.1.2. Tipos de HRB**

Os dois tipos básicos de HRB encontrados são: sistemas *add-on*, para aplicações com transmissões mecânicas, como por exemplo, caminhões de lixo e veículos comerciais utilizados em transporte interurbano e de distribuição; e sistemas integrados, para aplicações com um acionamento hidráulico existente, como empilhadeiras hidrostáticas (BASELEY *et al.*, 2007).

Conforme Baseley *et al.* (2007), nos sistemas *add-on* são utilizadas bombas com pistões axiais. O acoplamento entre o trem de acionamento do veículo e o sistema HRB pode variar. As figuras 20 e 21 mostram uma visão geral do sistema e de seus componentes. Durante a frenagem, a bomba de pistão axial (P/M) carrega o acumulador de alta pressão (SHP). Durante a aceleração, a descarga de fluido a partir do acumulador de alta pressão aciona o motor (P/M). Entre as operações de carga/descarga, a válvula 2/2 direcional (V) é fechada. Além disso, uma válvula de alívio de pressão (PRV) funciona como um dispositivo de segurança para o acumulador. Informações oriundas do sensor de pressão ( $p_h$ ) são utilizadas para controlar as operações do sistema HRB.

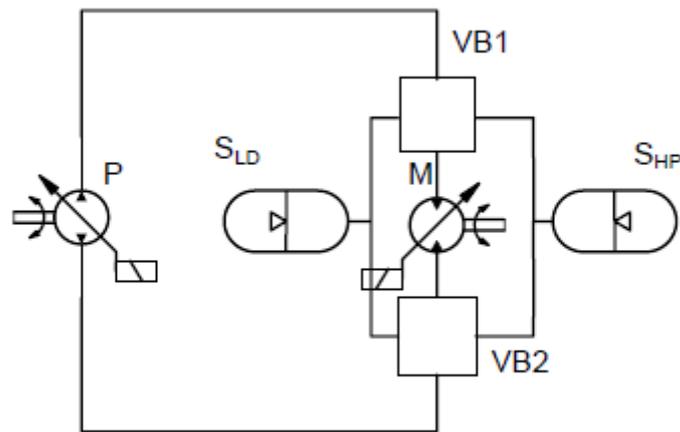


**Figura 20: Esquema do sistema HRB *add-on***  
 Fonte: Baseley *et al.* (2007)



**Figura 21: Visualização do sistema HRB *add-on***  
 Fonte: Baseley *et al.* (2007)

Os sistemas integrados utilizam o circuito hidrostático existente, como pode ser observado na aplicação ilustrada na figura 22.



**Figura 22: Esquema do sistema HRB integrado**  
 Fonte: Baseley *et al.* (2007)

Em condições normais de operação, as válvulas lógicas contidas em VB1 e VB2 estão fechadas para isolar os acumuladores. Dependendo do modo de operação, estas válvulas ficam abertas (BASELEY *et al.*, 2007).

Durante a aceleração, o fluido contido no acumulador de alta pressão é descarregado para o reservatório de baixa pressão através do motor hidráulico. Na frenagem, a máquina funciona como uma bomba para recarregar o acumulador e armazenar energia. Dependendo da estratégia utilizada para uma maior economia de combustível, o motor pode acionar a bomba para o acúmulo de energia no acumulador de alta pressão (BASELEY *et al.*, 2007).

### 2.6.1.3. Componentes do sistema HRB

Segundo Baseley *et al.* (2007), os componentes do sistema HRB são itens de produção em série, ou com pequenas modificações destes. Isso garante uma boa disponibilidade destes produtos e uma redução significativa em seus custos. Devido à grande variedade de componentes disponíveis no mercado, os fabricantes conseguem confeccionar sistemas HRB de acordo com as necessidades requeridas em sua aplicação. De acordo com Baseley *et al.* (2007), os principais componentes são:

- Acumuladores: o tamanho ideal de um acumulador é definido com base na quantidade de energia que este deverá armazenar. Para a sua determinação, são

realizadas simulações de desempenho, utilizando-se dados dos ciclos de operação do veículo em estudo. Ainda, para o projeto do sistema, também são consideradas a eficiência do sistema hidráulico e as perdas de energia causadas pelo atrito dos pneus com o solo. Como exemplo, para a empilhadeira e o caminhão de lixo, são utilizados acumuladores de 20 e 50 litros, respectivamente.

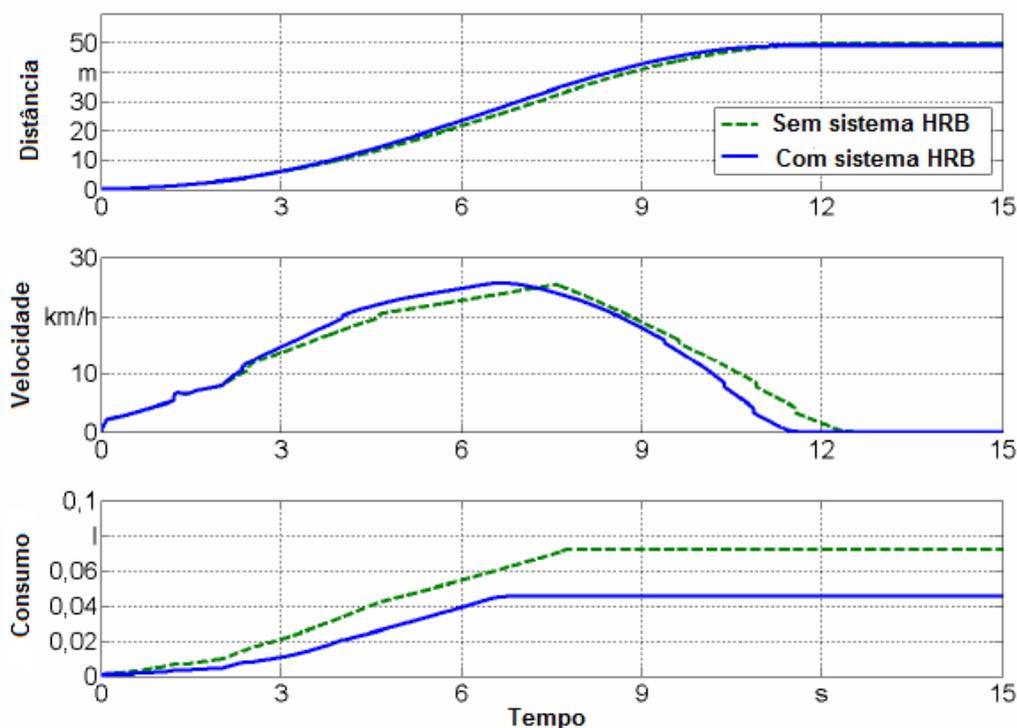
- Bomba/motor (pistão axial): seleciona-se a unidade de pistão axial com base na potência absorvida durante a frenagem, calculada a partir da massa, aceleração e velocidade do veículo. Os valores típicos para a aceleração situam-se entre 1,0 e 1,5 m/s<sup>2</sup>. A potência convertida pelo pistão é calculada de modo análogo, utilizando-se os valores de pressão e fluxo do fluido.
- Válvulas e reservatórios de baixa pressão: as válvulas são especificadas segundo os valores máximos que a pressão e o fluxo de fluido que passa por elas podem alcançar durante a operação, buscando minimizar eventuais perdas de pressão. Para um circuito fechado, o fabricante pode selecionar um acumulador de baixa pressão (acumulador de bexiga) ou um tanque padrão pré-tensionado ou ventilado. A especificação de um acumulador de baixa pressão é feita de modo análogo à determinação do tamanho do reservatório de alta pressão. Um tanque, por outro lado, deve ser capaz de armazenar pelo menos o volume de gás contido no reservatório de alta pressão, já considerando as alterações em seu volume. Como exemplo, para uma empilhadeira e para um caminhão de coleta de lixo, o tamanho mínimo dos tanques deverá ser de 20 e 35 litros, respectivamente.
- Unidade de Controle Eletrônico: O controle efetivo do sistema é fundamental para que o consumo de combustível e a emissão de poluentes atmosféricos sejam reduzidos. A unidade de controle recebe informações do operador do veículo (acelerador, freios, etc), e de sensores específicos. Para garantir a funcionalidade desejada, a unidade de controle realiza a interface com outros sistemas do veículo, tais como motor, freios ABS, etc. A estratégia de controle, realizada por software, garante um funcionamento eficaz do sistema HRB e também tem uma função de supervisão para garantir uma operação segura do veículo em caso de avaria de algum componente.

#### **2.6.1.4. Seleção de veículo e simulação**

Conforme Baseley *et al.* (2007), para se estimar a economia de energia obtida, devem ser levados em consideração o método de operação do sistema HRB, os ciclos de condução do veículo e os requisitos básicos de desempenho desejados nas aplicações dos respectivos veículos. O sistema HRB somente será útil se o acúmulo da energia obtido com a frenagem for suficiente para auxiliar o trabalho motor durante o ciclo de operação do veículo e se essa recuperação de energia for economicamente viável. Para assegurar a viabilidade do sistema HRB, os seguintes parâmetros devem ser analisados e avaliados adequadamente: massa do veículo, atrito do pneu com o solo e arrasto do veículo (atrito com o ar), velocidade no início e no final da frenagem, desaceleração e intervalo entre frenagens.

Para Baseley *et al.* (2007), além da massa do veículo, a superfície em que este é conduzido e seu ciclo de funcionamento são fatores que interferem na economia de combustível. Um caminhão de coleta de lixo possui um ciclo de partida e parada. Consideremos um veículo com essa aplicação, que tenha 26 toneladas de peso, 275 cv de potência e um consumo médio de 10 litros de combustível por hora. Ainda, suponhamos que ele acelere até à velocidade de 25 km/h entre os pontos de coleta. A economia de combustível para esse caso pode variar entre 15 e 30%, dependendo da distância entre os pontos de coleta.

A figura 23 ilustra as curvas comparativas de distância percorrida, velocidade e consumo para o caminhão de lixo citado para os casos em que este é equipado com o sistema HRB e não é equipado.



**Figura 23: Resultados da simulação do caminhão de lixo de 26 toneladas e 275 cv de potência.**  
 Fonte: Elaboração do autor baseado em Baseley *et al.* (2007)

Observa-se, da figura 23, que as distâncias percorridas e velocidades atingidas, em determinado instante de tempo, são semelhantes para o caminhão equipado com sistema HRB e o não equipado. Porém, o consumo de combustível é nitidamente mais baixo no caso do veículo com o sistema HRB instalado.

A simulação realista de modelos de veículos equipados com o sistema HRB demonstra que as reduções no consumo de combustível são bastante consideráveis, comparando-se com os veículos com sistema de propulsão convencional (BASELEY *et al.*, 2007).

Segundo Baseley *et al.* (2007), para essas simulações, são utilizados diversos mapas de consumo de combustível definidos para cada modelo de motor a diesel, que é analisado com uma ferramenta de simulação do AMESim, que consiste num software de simulação para a modelagem e análise de sistemas unidimensionais. Diferentes níveis de simulação do modelo são usados para se estimar o desempenho, a especificação e o projeto do sistema de controle.

Para a simulação de um sistema HRB *add-on* para caminhões de coleta de resíduos domésticos, foi considerado o ciclo de operação ilustrado na figura 24.

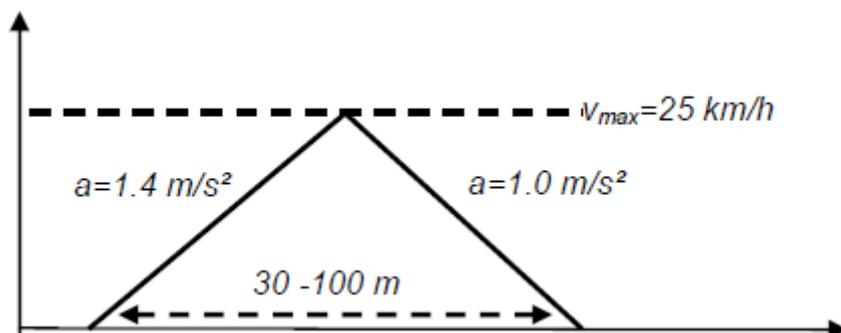


Figura 24: Ciclo de operação de um caminhão de coleta de resíduos  
Fonte: Baseley *et al.* (2007)

Observa-se que o valor típico de desaceleração é em torno de  $1 \text{ m/s}^2$  e a velocidade máxima atingida durante um deslocamento de 30 a 100 metros é de  $25 \text{ km/h}$ . Os resultados das simulações mostram que a economia de combustível pode alcançar até 30%, utilizando-se o sistema HRB (BASELEY *et al.*, 2007).

De acordo com Baseley *et al.* (2007), a simulação também demonstra claramente que maiores valores de aceleração podem ser obtidos quando o veículo inicia seu movimento com o uso da unidade híbrida. Dessa forma, o veículo com HRB poderia atingir o próximo ponto de parada mais rapidamente.

#### 2.6.1.5. Vantagens do sistema HRB

A economia obtida com a redução do consumo de combustível e no custo de manutenção do sistema de freios deve ser comparada com o custo adicional de se instalar tal sistema. Dependendo do tipo de veículo e seu ciclo de operação, estes custos podem ser amortizados em várias taxas. Para ciclos de trabalho extremamente curtos, que são comuns para os caminhões de coleta de resíduos e empilhadeiras, o uso de HRB reduz o consumo de combustível em até 30% (BASELEY *et al.*, 2007).

Algumas outras vantagens do sistema de freio regenerativo são: a redução de emissões de poluentes atmosféricos, do desgaste dos freios e de partículas finas de poeira oriundas do desgaste das pastilhas de freio; a melhoria da aceleração do veículo, utilizando a energia hidráulica associada ao motor à combustão; a fácil integração de

sistemas, bem como a possibilidade de adaptação de veículos; e os custos baixos dos componentes do sistema (BASELEY *et al.*, 2007).

De acordo com Lindzus (2011), além de todas essas vantagens, o sistema HRB é robusto, de fácil manutenção e de operação muito simples. Proporciona, ainda, trocas de marchas sem que haja a necessidade de desaceleração. Por todos esses pontos positivos, observa-se que sua aceitação por parte dos operadores é grande.

As figuras 25 e 26 ilustram veículos que a empresa MAN testou nos anos de 2009 e 2010 utilizando a tecnologia HRB.



**Figura 25: Veículo MAN TGM (Alemanha)**  
Fonte: Lindzus (2011)

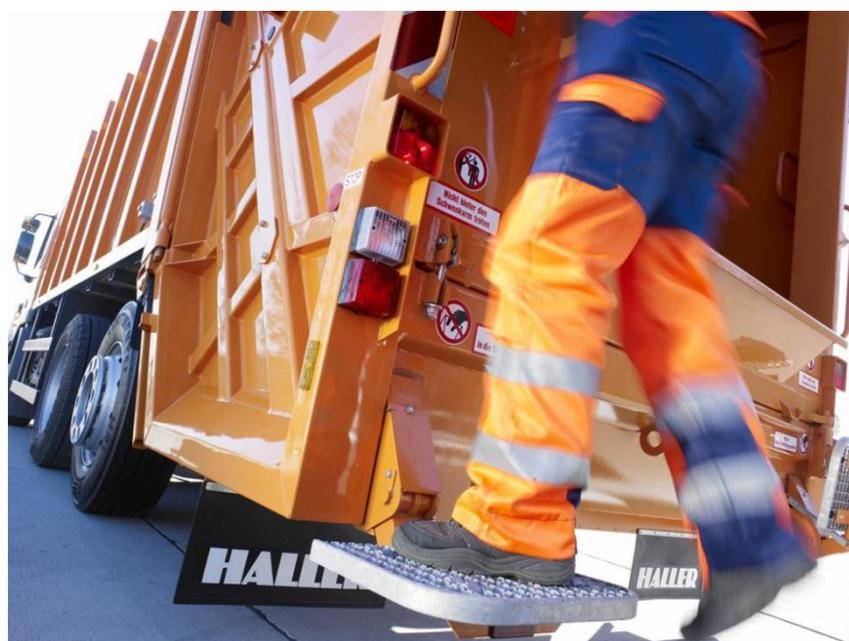


**Figura 26: Veículo Crane Cartier LET 2 (EUA)**  
Fonte: Lindzus (2011)

#### **2.6.1.6. Resultados alcançados com o HRB**

A Associação Independente de Automóvel Alemã testou a tecnologia HRB da Bosch Rexroth em caminhões de lixo, com operação diária, obtendo uma economia de combustível entre 13-28% e uma redução significativa no desgaste do sistema de freios. O sistema HRB conseguiu demonstrar todo seu potencial em percursos com curtas distâncias entre paragens e um relevo ligeiramente acidentado, onde foi possível conduzir o veículo através do acionamento híbrido (LINDZUS, 2011).

Em maio de 2008, em uma feira mundial de tecnologia ambiental, conhecida como IFAT e ocorrida em Munique (Alemanha), foi apresentado um caminhão de coleta de resíduos com a tecnologia HRB nele instalada, da empresa Haller Sistemas Ambientais. Esse veículo alcançou uma redução de 25% no consumo de combustível, além de diminuir a emissão de CO<sub>2</sub> (BOSCH, 2008). A figura 27 apresenta uma foto do referido veículo.



**Figura 27: Caminhão x2eco, da Haller Sistemas Ambientais, equipado com o sistema HRB da Bosch Rexroth**  
Fonte: Bosch (2008)

Um outro caso de sucesso aconteceu em 2010, na cidade de Kassel (Alemanha), em que houve uma redução de 15 a 18% no consumo de óleo diesel dos caminhões de coleta de lixo equipados com o sistema HRB (LINDZUS, 2011).

### 2.6.2. Sistema híbrido hidráulico HLA

O sistema HLA, da empresa americana EATON, fabricante de sistemas híbridos, é um híbrido hidráulico em paralelo que recupera a maior parte da energia normalmente desperdiçada na forma de calor durante a frenagem. Assim como os demais sistemas desse tipo, esta energia é utilizada para complementar a potência do motor durante a aceleração e este sistema é mais eficiente quando o ciclo de condução do veículo é do tipo partida e parada (BOHLMANN, 2007).

Segundo Bohlmann (2007), o modo de regeneração ocorre durante a frenagem, quando a energia cinética do veículo aciona o conjunto bomba/motor, que funciona como uma bomba, transferindo fluido hidráulico do reservatório de baixa pressão para o acumulador de alta pressão. O fluido comprime o nitrogênio gasoso no acumulador, que pressuriza o sistema.

Durante a aceleração, o fluido do acumulador de alta pressão aciona o conjunto bomba/motor, que funciona como um motor. O sistema impulsiona o veículo por transmissão de torque para o eixo. A figura 28 apresenta o esquema de funcionamento desse sistema.

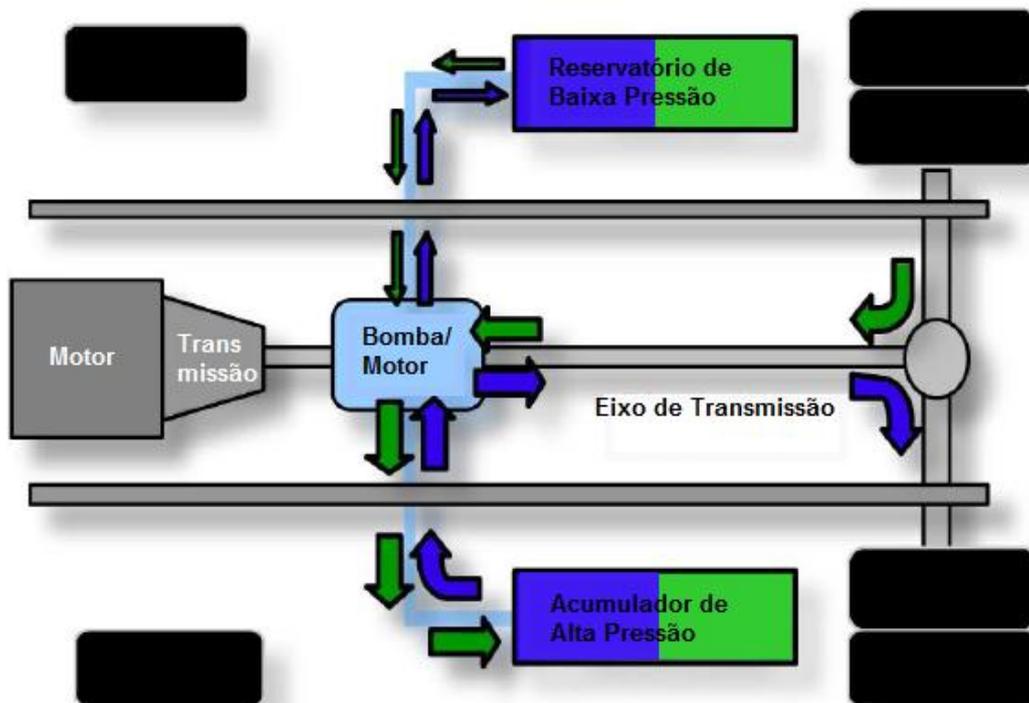


Figura 28: Esquema de funcionamento do sistema HLA, da EATON  
Fonte: Elaboração do autor baseado em Bohlmann (2007)

### **2.6.2.1. Resultados alcançados com o HLA**

Segundo Bohlmann (2007), o primeiro veículo utilitário esportivo (SUV) avançado, utilizando a tecnologia de propulsão híbrida hidráulica, foi exibido publicamente pela Agência de Proteção Ambiental (EPA), dos EUA, juntamente com seus parceiros, no Congresso Mundial do Automóvel (SAE) em março de 2004, na cidade de Detroit. Esse veículo demonstrou que essa nova tecnologia tem um grande potencial de melhorar a economia de combustível dos SUVs, aumentando, inclusive, o desempenho do veículo.

De acordo com Bohlmann (2007), o veículo que foi exibido alcançou uma economia de 55% no consumo de combustível. O custo adicionado ao veículo híbrido foi cerca de US\$ 600,00. Valor este que seria rapidamente recuperado em função dos menores custos de operação e manutenção. Ainda, foi revelado que outros 30 a 40% de melhoria na economia seriam obtidos pela substituição do motor a gasolina pelo diesel, transformando-o num veículo de propulsão híbrido diesel-hidráulico.

É importante perceber neste exemplo que, embora o veículo seja leve, ganhos expressivos na economia de combustível seriam obtidos se fosse utilizado um sistema diesel-hidráulico, superiores aos alcançados com o sistema híbrido hidráulico com motor a gasolina.

Enquanto são adicionados uma bateria elétrica, gerador e motor elétricos, e um circuito de controle eletrônico aos veículos híbridos elétricos, nos híbridos hidráulicos HLA há a adição de um acumulador, que armazena a energia do gás nitrogênio altamente comprimido, e um ou mais conjuntos motor/bomba hidráulicos (BOHLMANN, 2007).

Também, nesse Congresso, o Centro Automotivo do Exército dos EUA introduziu um caminhão híbrido hidráulico militar, denominado SmarTruck III. Conforme Bohlmann (2007), este veículo recupera uma porção da energia desperdiçada, normalmente na forma de calor pelo sistema de frenagem, e possui um motor hidráulico auxiliar que pode proporcionar uma redução de 25 a 35% no consumo de combustível, e uma diminuição de 30% na emissão de poluentes. Além disso, consegue-se elevar o torque do veículo, mesmo em baixas velocidades.

## 2.7. OUTROS RESULTADOS DA APLICAÇÃO DE SISTEMAS HÍBRIDOS HIDRÁULICOS

A figura 29 mostra um veículo comercial leve de entrega, desenvolvido pela EPA em parceria com a UPS, Eaton, International Caminhões e o Exército Americano, em 2005. Esse caminhão utiliza um sistema de propulsão híbrido hidráulico em série (RODRIGUES, 2010).

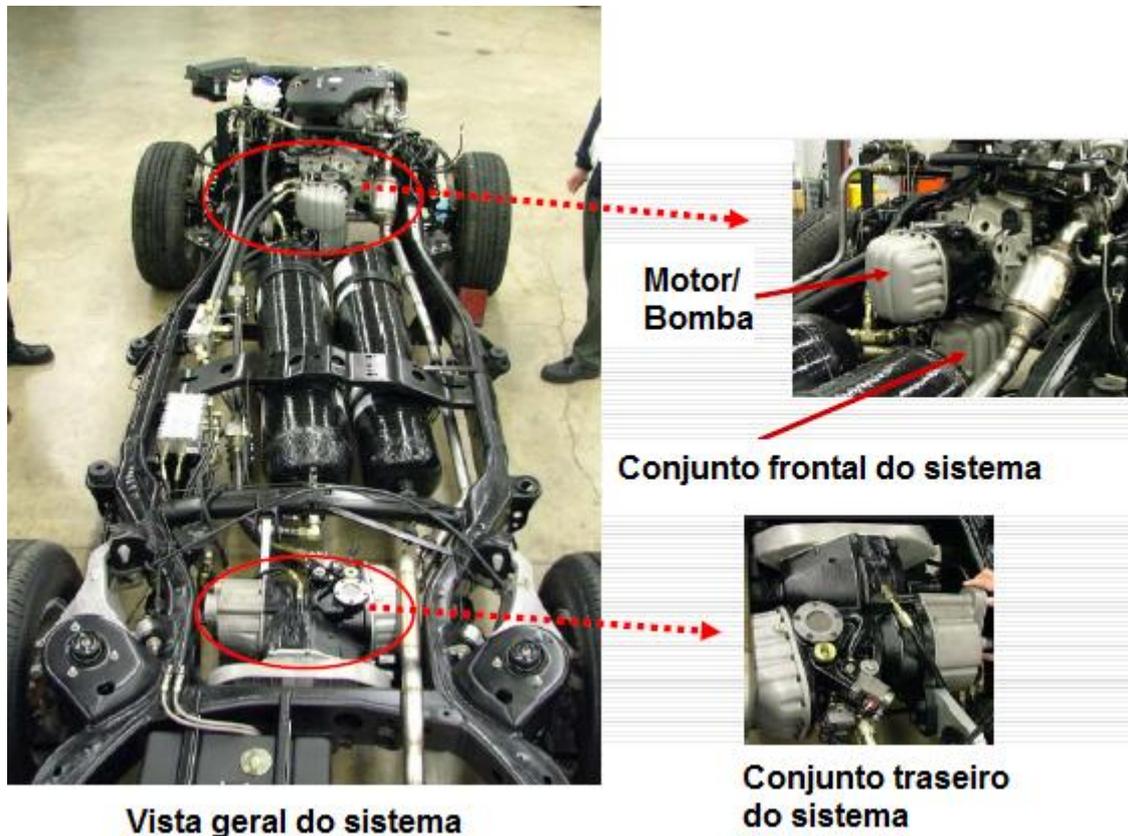


**Figura 29: Caminhão equipado com um sistema de propulsão híbrido hidráulico em série**  
Fonte: Bohlmann (2007)

Os resultados obtidos com esse veículo foram: economia de combustível de 60 a 70%; acréscimo no custo de produção do veículo de 10 a 15%; e retorno do investimento inicial de 2 a 3 anos (RODRIGUES, 2010). Na prática, ao ser colocado no serviço de entrega na cidade de Detroit, este veículo alcançou uma economia de 45 a 50% no consumo de combustível (BOHLMANN, 2007).

Segundo Rodrigues (2010), foi realizado um teste de caminhão de lixo, da marca Mercedes-Benz, modelo Actros, com peso variando entre 15 e 26 toneladas e motor a diesel de 315 hp, equipado com um sistema híbrido hidráulico em paralelo com potência de 250 kW, constituído por dois acumuladores de aço hidráulicos com volume de 32 litros, trabalhando com pressão mínima de 120 bar e máxima de 330 bar. Sua velocidade de alcance era de 30 km/h e a capacidade de acumulação de energia era de 550 kJ. Durante os testes, o veículo obteve uma economia de combustível em torno de 25%, andando em um percurso real numa cidade alemã.

A figura 30 ilustra um chassi de um veículo híbrido hidráulico em série. Observa-se que a introdução dessa tecnologia provoca mudanças significativas no *layout* do chassi. Essas alterações são maiores nos híbridos hidráulicos em série que nos sistemas em paralelo. Conforme visto anteriormente, um projeto do tipo em série exige um estudo mais detalhado, além de testes e certificações que garantam a confiabilidade do equipamento (RODRIGUES, 2010).



**Figura 30: Chassi de um veículo híbrido hidráulico em série**  
Fonte: Elaboração do autor baseado em Gray (2006)

Gray (2006) acredita que, em se tratando de economia com o sistema de propulsão híbrido hidráulico, é esperada uma redução de cerca de 40% no consumo de combustível e de aproximadamente 75% no custo de manutenção do sistema de freios.

### 3. PROCEDIMENTO E METODOLOGIA

A viabilidade de se introduzir a tecnologia híbrida diesel-hidráulica em um veículo utilizado na coleta de resíduos em área urbana será analisada do ponto de vista econômico, ou financeiro, e ambiental. Para isso, são desenvolvidos dois métodos para se proceder a essa análise, que serão descritos em detalhes.

#### 3.1. MÉTODO PARA A ANÁLISE FINANCEIRA

A metodologia utilizada para se obter resultados que sustentem uma análise financeira da viabilidade de se introduzir o sistema híbrido diesel-hidráulico nos veículos de coleta de resíduos se baseia em um fluxo de caixa, com a comparação do custo adicional de se instalar o sistema HRB no veículo com o retorno obtido pelas reduções no consumo de combustível e no custo de manutenção do sistema de freios.

Com o objetivo de tornar o método o mais abrangente possível, foram utilizadas as variáveis definidas nas tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1: Variáveis relativas a tempo, índices econômicos e veículo

VARIÁVEL	DESCRIÇÃO	UNIDADE
<b>TEMPO</b>		
T	Tempo de renovação da frota	anos
$T_{PB}$	Tempo de retorno do investimento ( <i>payback</i> )	anos
n	Ano de referência	anos
<b>ÍNDICES ECONÔMICOS</b>		
$i_{SELIC}$	Taxa SELIC	-
$i_{inf}$	Taxa de inflação	-
$i_{eqM}$	Taxa equivalente aos efeitos de aplicação das taxas SELIC e de inflação no custo de manutenção	-
<b>VEÍCULO</b>		
$V_c$	Valor do caminhão padrão	R\$
$V_{cc}$	Valor do caminhão padrão com compactador	R\$
$V_r$	Valor de revenda do caminhão padrão com compactador	R\$
$VH_{cc}$	Valor do caminhão híbrido com compactador	R\$
$VH_r$	Valor de revenda do caminhão híbrido com compactador	R\$
$CC_{VP}$	Custo de capital do veículo padrão a valor presente	R\$
$CCH_{VP}$	Custo de capital do veículo híbrido a valor presente	R\$
$\Delta CC_{VP}$	Acréscimo no custo de capital a valor presente	R\$
$\Delta CR_{VP}$	Acréscimo real no custo de aquisição do sistema HRB a valor presente	R\$
$i_r$	Taxa residual para valor de revenda	-

Fonte: Elaboração do autor

Tabela 2: Variáveis relativas à manutenção e operação

VARIÁVEL	DESCRIÇÃO	UNIDADE
<b>MANUTENÇÃO</b>		
CM	Custo total de manutenção do veículo padrão	R\$
CMH	Custo total de manutenção do veículo híbrido	R\$
CM <sub>VP</sub>	Custo total de manutenção do veículo padrão a valor presente	R\$
CMH <sub>VP</sub>	Custo total de manutenção do veículo híbrido a valor presente	R\$
CM <sub>SF</sub>	Custo de manutenção do sistema de freios para o veículo padrão	R\$
CM <sub>MCE</sub>	Custo de manutenção do conjunto motor/câmbio/embreagem para o veículo padrão	R\$
CM <sub>P</sub>	Custo de substituição dos pneus para o veículo padrão	R\$
CM <sub>LF</sub>	Custo de troca de lubrificantes e filtros para o veículo padrão	R\$
CMH <sub>SF</sub>	Custo de manutenção do sistema de freios para o veículo híbrido	R\$
CMH <sub>MCE</sub>	Custo de manutenção do conjunto motor/câmbio/embreagem para o veículo híbrido	R\$
CMH <sub>P</sub>	Custo de substituição dos pneus para o veículo híbrido	R\$
CMH <sub>LF</sub>	Custo de troca de lubrificantes e filtros para o veículo híbrido	R\$
$\Delta$ CMT <sub>VP</sub>	Redução no custo total de manutenção a valor presente	R\$
<b>OPERAÇÃO</b>		
$\Delta$ CO	Redução no custo de operação	R\$
$\Delta$ CO <sub>VP</sub>	Redução no custo de operação a valor presente	R\$
$\Delta$ CO <sub>TVP</sub>	Redução total no custo de operação a valor presente	R\$
d	Distância média mensal percorrida pelo veículo	km
e	Consumo médio do veículo padrão	km/l
e <sub>h</sub>	Consumo médio do veículo híbrido	km/l
i <sub>cons</sub>	Taxa de redução no consumo de combustível	-
F	Quantidade de combustível gasto por mês pelo veículo padrão	l
F <sub>h</sub>	Quantidade de combustível gasto por mês pelo veículo híbrido	l
$\Delta$ F	Redução da quantidade de combustível gasto por mês	l
V <sub>D</sub>	Preço do litro do óleo diesel	R\$
i <sub>D</sub>	Taxa de aumento anual do preço do litro do óleo diesel	-
i <sub>eqD</sub>	Taxa equivalente aos efeitos de aplicação das taxas SELIC e de aumento anual do preço do diesel no custo de operação	-

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 3: Variáveis relativas a crédito de carbono e retorno do investimento**

VARIÁVEL	DESCRIÇÃO	UNIDADE
<b>CRÉDITO DE CARBONO</b>		
$f_c$	Fator de emissão de CO <sub>2</sub>	kg/l
$G_c$	Redução na emissão de CO <sub>2</sub>	kg
$Z_c$	Valor de um crédito de carbono	R\$
$L_c$	Lucro financeiro com a venda de crédito de carbono	R\$
$LT_{VP_C}$	Lucro financeiro total, a valor presente, com a venda de crédito de carbono, ao longo do período de tempo T	R\$
<b>RETORNO DO INVESTIMENTO</b>		
$R_{PB}$	Valor retornado ao operador	R\$
$R_{PBC}$	Valor retornado ao operador considerando a venda de crédito de carbono	R\$
$d_{viável}$	Distância mensal a partir da qual o sistema híbrido é viável	km
$d_{viávelC}$	Distância mensal a partir da qual o sistema híbrido é viável, considerando a venda de crédito de carbono	km

Fonte: Elaboração do autor

Inicialmente, estabelece-se o tempo de renovação da frota (T). Depois, calcula-se o valor presente de  $V_c$ . A taxa residual obtida com a substituição da frota ( $i_r$ ) é incidida somente sobre o caminhão, pois neste trabalho trabalha-se com a diferença entre os valores do veículo com e sem o HRB para o cálculo do acréscimo de custo com a introdução do sistema híbrido ( $\Delta CC_{VP}$ ). Em outras palavras, pode-se desconsiderar a unidade compactadora para esse cálculo, já que esta assume o mesmo valor em ambas as parcelas da diferença, fornecendo uma contribuição nula para  $\Delta CC_{VP}$ .

Ainda, considerou-se um valor residual nulo para o sistema HRB instalado. Ou seja, para os dois tipos de veículo, padrão e híbrido, o valor de revenda será o mesmo. Assim, a valor presente, tem-se que:

$$V_r = VH_r = \frac{(V_c \times i_r)}{(1 + i_{SELIC})^T} \quad (1)$$

Em seguida, calcula-se o custo de capital a valor presente para o caminhão padrão ( $CC_{VP}$ ) e híbrido ( $CCH_{VP}$ ) da seguinte forma:

$$CC_{VP} = V_{cc} - V_r \quad (2)$$

$$CCH_{VP} = VH_{cc} - VH_r \quad (3)$$

Com as equações (2) e (3), obtém-se o acréscimo no custo de capital a valor presente:

$$\Delta CC_{VP} = CCH_{VP} - CC_{VP} \quad (4)$$

O custo total de manutenção de cada veículo será fornecido por meio da soma das parcelas gastas com o sistema de freios, conjunto motor/câmbio/embreagem, pneus e lubrificantes/filtros. Dessa forma, tem-se que:

$$CM = CM_{SF} + CM_{MCE} + CM_P + CM_{LF} \quad (5)$$

$$CMH = CMH_{SF} + CMH_{MCE} + CMH_P + CMH_{LF} \quad (6)$$

Considerando-se que o custo de manutenção sofrerá um aumento anual devido à elevação de preço de matérias-primas, fretes, energia elétrica, maquinários, entre outros componentes necessários à produção de itens a serem substituídos durante a manutenção, além de um aumento salarial da mão-de-obra, é razoável considerar que o valor da taxa de aumento do custo de manutenção seja igual ao da inflação ( $i_{inf}$ ). Assume-se que esta taxa seja um valor constante para todos os anos do período de tempo T. Assim, a valor presente, os resultados de (5) e (6) ficam:

$$CM_{VP_n} = \frac{CM \times (1 + i_{inf})^n}{(1 + i_{SELIC})^n} \quad (7)$$

$$CMH_{VP_n} = \frac{CMH \times (1 + i_{inf})^n}{(1 + i_{SELIC})^n} \quad (8)$$

Onde n representa o ano de referência dentro do período de tempo T de renovação de frota, sendo que  $1 \leq n \leq T$ .

As equações (7) e (8) podem ser simplificadas, utilizando-se uma taxa equivalente  $i_{eqM}$ , que represente os efeitos da taxa SELIC e de inflação sobre o valor do custo de manutenção ao longo do tempo. Dessa forma, tem-se:

$$i_{(eq_M)_n} = \frac{(1 + i_{inf})^{n-1}}{(1 + i_{SELIC})^n} \quad (9)$$

$$CM_{VP_n} = CM \times i_{(eq_M)_n} \quad (10)$$

$$CMH_{VP_n} = CMH \times i_{(eq_M)_n} \quad (11)$$

Tomando-se por base as equações (10) e (11), o custo de manutenção total durante o período de tempo T, a valor presente, será dado por:

$$CM_{VP} = \sum_{n=1}^T CM_{VP_n} \quad (12)$$

$$CMH_{VP} = \sum_{n=1}^T CMH_{VP_n} \quad (13)$$

É esperado que o valor de  $CMH_{VP}$  seja menor que o de  $CM_{VP}$ . Dessa forma, haverá uma redução no custo de manutenção total, que será traduzida por:

$$\Delta CMT_{VP} = CM_{VP} - CMH_{VP} \quad (14)$$

Subtraindo-se a equação (14) de (4), obtém-se o valor do acréscimo real pela introdução do sistema HRB no veículo. Assim, tem-se que:

$$\Delta CR_{VP} = \Delta CC_{VP} - \Delta CM_{VP} \quad (15)$$

Para se obter a redução no custo de operação, alcançada pelo menor consumo de combustível do veículo híbrido, calcula-se, inicialmente, a quantidade de combustível gasta pelo veículo padrão e pelo híbrido. Assim, tem-se:

$$F = \frac{d}{e} \quad (16)$$

$$F_h = \frac{d}{e_h} \quad (17)$$

$$\text{Onde } e_h = e \times (1 + i_{\text{cons}}) \quad (18)$$

Portanto, a redução na quantidade consumida de combustível é dada por:

$$\Delta F = F - F_h \quad (19)$$

Considerando-se a taxa de aumento anual do preço do óleo diesel, a redução no custo de operação, por ano, é de:

$$\Delta CO_n = \Delta F \times V_D \times (1 + i_D)^{n-1} \quad (20)$$

Lembrando-se que  $1 \leq n \leq T$ .

A valor presente, a equação (20) fica:

$$\Delta CO_{VP_n} = \frac{\Delta F \times V_D \times (1 + i_D)^{n-1}}{(1 + i_{\text{SELIC}})^n} \quad (21)$$

A equação (21) pode ser simplificada, utilizando-se uma taxa equivalente  $i_{\text{eqD}}$ , que represente os efeitos da taxa SELIC e do aumento de preço do óleo diesel sobre o valor do custo de operação ao longo do tempo. Dessa forma, tem-se:

$$i_{(\text{eqD})_n} = \frac{(1 + i_D)^{n-1}}{(1 + i_{\text{SELIC}})^n} \quad (22)$$

$$\Delta CO_{VP_n} = \Delta F \times V_D \times i_{(\text{eqM})_n} \quad (23)$$

Assim, a redução total no custo de operação do veículo, a valor presente, é dada por:

$$\Delta CO_{TVP} = \sum_{n=1}^T \Delta F \times V_D \times i_{(\text{eqM})_n} \quad (24)$$

De posse dos resultados encontrados para o acréscimo real no custo de aquisição do sistema HRB ( $\Delta CR_{VP}$ ) e para a redução total no custo de operação ( $\Delta CO_{TVP}$ ), todos a valor presente, pode-se estabelecer uma comparação entre esses valores. Portanto, a introdução da tecnologia híbrida diesel hidráulica em um veículo de coleta de resíduos será viável, do ponto de vista financeiro, se:

$$\frac{\Delta CO_{TVP}}{\Delta CR_{VP}} \geq 1 \quad (25)$$

Caso contrário, a aquisição de um sistema híbrido se torna inviável.

Considerando-se que a relação (25) foi atendida, o valor retornado ao operador será de:

$$R_{PB} = \Delta CO_{TVP} - \Delta CR_{VP} \quad (26)$$

Ainda, o tempo de renovação da frota pode ser interpretado como o tempo de retorno do investimento realizado ( $T_{PB}$ ). Para obtê-lo, basta tomar o menor valor de  $T$ , para o qual  $R_{PB} \geq 0$ . Usualmente,  $T_{PB}$  é denominado *payback*.

Para se obter a distância a partir da qual a introdução da tecnologia híbrida diesel-hidráulica em um veículo de coleta de resíduos é viável, basta tomar a equação (26) e igualá-la a zero. Assim, tem-se que:

$$R_{PB} = \Delta CO_{TVP} - \Delta CR_{VP} = 0 \quad (26A)$$

$$\Delta CO_{TVP} = \sum_{n=1}^T \Delta F \times V_D \times i_{(eqM)_n} = \Delta CR_{VP} \quad (26B)$$

$$\sum_{n=1}^T \frac{(e_h - e)}{e_h e} \times d_{viável} \times V_D \times i_{(eqM)_n} = \Delta CR_{VP} \quad (26C)$$

E, então, a distância para a qual o sistema híbrido é viável, vale:

$$d_{\text{viável}} = \frac{\Delta CR_{VP}}{\sum_{n=1}^T \frac{(e_h - e)}{e_h e} \times V_D \times i_{(eqM)_n}} \quad (27)$$

Para Mattos (2011), a utilização de sistemas híbridos abre a possibilidade de se vender créditos de carbono, visto que haverá uma redução na emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) alcançada pela diminuição na quantidade consumida de combustível. Com isso, são calculadas as quantidades em massa de CO<sub>2</sub> que deixariam de ser emitidas, para cada taxa de redução no consumo de diesel. Dessa forma, tem-se que:

$$G_C = f_C \times \Delta F \quad (28)$$

$$L_C = Z_C \times G_C \quad (29)$$

E, então, o lucro financeiro total, a valor presente, obtido com a venda de crédito de carbono, ao longo do período de tempo T, vale:

$$LT_{VPC} = \sum_{n=1}^T \frac{L_C}{(1 + i_{SELIC})^n} \quad (30)$$

Este valor é uma contribuição positiva ao retorno financeiro, que passa a valer:

$$R_{PBC} = R_{PB} + LT_{VPC} \quad (31)$$

A distância a partir da qual o sistema híbrido em estudo é viável, considerando a venda de crédito de carbono é encontrada igualando-se a equação (31) a zero. Assim, tem-se que:

$$R_{PBC} = R_{PB} + LT_{VPC} = 0 \quad (31A)$$

$$R_{PB} + LT_{VPC} = \Delta CO_{TVP} - \Delta CR_{VP} + LT_{VPC} = 0 \quad (31B)$$

$$\sum_{n=1}^T \Delta F \times V_D \times i_{(eqM)_n} + \sum_{n=1}^T \frac{L_C}{(1 + i_{SELIC})^n} = \Delta CR_{VP} \quad (31C)$$

$$\sum_{n=1}^T \Delta F \times V_D \times i_{(eqM)_n} + \sum_{n=1}^T \frac{Z_C \times f_C \times \Delta F}{(1 + i_{SELIC})^n} = \Delta CR_{VP} \quad (31D)$$

$$\Delta F \left( \sum_{n=1}^T V_D \times i_{(eqM)_n} + \sum_{n=1}^T \frac{Z_C \times f_C}{(1 + i_{SELIC})^n} \right) = \Delta CR_{VP} \quad (31E)$$

$$\Delta F = \frac{\Delta CR_{VP}}{\left( \sum_{n=1}^T V_D \times i_{(eqM)_n} + \sum_{n=1}^T \frac{Z_C \times f_C}{(1 + i_{SELIC})^n} \right)} \quad (31F)$$

E, então, a distância para a qual o sistema híbrido é viável, considerando a venda de crédito de carbono, vale:

$$d_{viávelC} = \frac{\Delta CR_{VP}}{\left( \frac{e_h - e}{e_h e} \right) \times \left( \sum_{n=1}^T V_D \times i_{(eqM)_n} + \sum_{n=1}^T \frac{Z_C \times f_C}{(1 + i_{SELIC})^n} \right)} \quad (32)$$

### 3.2. MÉTODO PARA A ANÁLISE AMBIENTAL

O método para se realizar a análise da viabilidade ambiental da tecnologia híbrida diesel-hidráulica baseia-se na verificação do impacto da redução dos fatores de emissão ( $g_{poluente}/km$ ) do motor diesel de um veículo equipado com o sistema híbrido hidráulico perante a frota a qual pertence, seja ela de uma empresa, cidade ou estado, em que seus demais veículos são não híbridos.

Do mesmo modo como foi feito no item anterior, dedicado à análise de aspectos financeiros, são definidas as variáveis utilizadas pelo método, apresentadas na tabela 4.

**Tabela 4: Variáveis do método para a análise ambiental**

VARIÁVEL	DESCRIÇÃO	UNIDADE
$f_{gkm_\alpha}$	Fator de emissão do poluente $\alpha$ em g/km	$g_{poluente}/km$
$f_{hgkm_\alpha}$	Fator de emissão do poluente $\alpha$ para o veículo híbrido em g/km	$g_{poluente}/km$
$f_{gkWh_\alpha}$	Fator de emissão do poluente $\alpha$ em g/kWh	$g_{poluente}/kWh$
$f_{gkg_\alpha}$	Fator de emissão do poluente $\alpha$ em g/kg <sub>diesel</sub>	$g_{poluente}/kg_{diesel}$
$G_\alpha$	Redução na emissão do poluente $\alpha$	t
$G_{\alpha T}$	Redução total na emissão do poluente $\alpha$	t
e	Consumo médio do veículo padrão	km/l
$e_h$	Consumo médio do veículo híbrido	km/l
$\Delta F$	Redução da quantidade de combustível gasto por mês	l
$\rho_D$	Densidade do óleo diesel S-50	kg/l
$i_{cons}$	Taxa de redução no consumo de combustível	-
$\varepsilon_D$	Consumo específico de óleo diesel	g/kWh
d	Distância média mensal percorrida pelo veículo	km
$\alpha$	Poluente: CO, HCNM, NO <sub>x</sub> e MP	-
$N_F$	Número de veículos, de determinado tipo, que constituem a frota	-

Fonte: Elaboração do autor

No intuito de se manter uma padronização de identificação, as variáveis que guardam as mesmas informações daquelas do método para análise financeira foram repetidas neste método.

O método considera quatro poluentes para se proceder à análise. São eles: CO, HCNM, NO<sub>x</sub> e MP. Como a distância média percorrida por cada veículo é uma variável não constante, os valores de emissão desses quatro poluentes irão variar de acordo com a utilização do veículo. Desse modo, faz-se necessário encontrar os fatores de emissão  $f_{gkm_\alpha}$ , dados em  $g_{poluente}/km$ , para que, fixada a distância média, a redução na quantidade de massa do poluente possa ser comparada à sua massa total emitida pelo pelos veículos da frota a qual pertence.

Dado o valor do fator de emissão  $f_{gkWh_\alpha}$  ( $g_{poluente}/kWh$ ), para se obter  $f_{gkm_\alpha}$ , utiliza-se a seguinte relação:

$$f_{gkm_\alpha} = (f_{gkg_\alpha} \times \rho_D) \div e \quad (33)$$

Onde o valor de  $f_{gkg_\alpha}$  ( $g_{poluente}/kg_{diesel}$ ) é obtido a partir da seguinte equação:

$$f_{gkg_\alpha} = \left( f_{gkWh_\alpha} \div \varepsilon_D \right) \times \left( \frac{1}{1000} \right) \quad (34)$$

Para o veículo híbrido, a equação (33) fica:

$$f_{hgkm_\alpha} = (f_{gkg_\alpha} \times \rho_D) \div e_h \quad (35)$$

Lembrando-se que, conforme equação (18),  $e_h = e \times (1 + i_{cons})$ .

A redução na emissão de determinado poluente será dada por:

$$G_\alpha = \left( f_{gkm_\alpha} - f_{hgkm_\alpha} \right) \times d = \rho_D \times \left( \frac{f_{gkg_\alpha}}{e} - \frac{f_{gkg_\alpha}}{e_h} \right) \quad (36)$$

E, assim:

$$G_\alpha = \rho_D \times f_{gkg_\alpha} \times \Delta F \quad (36 A)$$

Considerando-se o número de veículos, de determinado tipo, calcula-se a redução total na emissão de determinado poluente, que é dada por:

$$G_{\alpha T} = G_\alpha \times N_F \quad (37)$$

De posse dos valores de redução na emissão de um poluente considerado, fixando-se a distância média percorrida pelo veículo em um ano, pode-se compará-los com a emissão total de poluentes de sua frota.

#### **4. APLICAÇÃO: O CASO DA COLETA DE RESÍDUOS EM ÁREA URBANA**

Com base nos métodos desenvolvidos, serão obtidos resultados a partir de cenários previamente estabelecidos, elaborados com o propósito de analisar a viabilidade financeira e ambiental de se aplicar a tecnologia híbrida diesel-hidráulica nos caminhões de coleta de resíduos em área urbana da COMLURB.

A demonstração dos resultados será feita por meio de tabelas, permitindo a identificação das etapas dos métodos, explicitando-se os valores encontrados para variáveis pertinentes. Além de tabelas, serão apresentados gráficos que ilustrarão curvas de retorno financeiro, em comparação com o custo adicional pela aquisição do sistema híbrido, já descontada a redução no custo de manutenção. Desta forma, será imediata a visualização da situação de viabilidade, considerando o cenário proposto.

##### **4.1. APLICAÇÃO DO MÉTODO PARA ANÁLISE FINANCEIRA**

Para a avaliação financeira da tecnologia de propulsão híbrida diesel-hidráulica, foram considerados os dados coletados dos testes de consumo de combustível realizados com o caminhão MAN, modelo 24.280, com o peso de 23 toneladas e que utiliza um sistema de frenagem regenerativa hidrostática (HRB), tal como descrito no capítulo 2, item 2.6.1.



**Figura 31: Caminhão MAN 24.280 com sistema de propulsão híbrido diesel hidráulico HRB**  
Fonte: MAN LATIN AMERICA

Além desses dados, foram obtidos junto à Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro (COMLURB), dados gerais, técnicos, operacionais, e de custo de manutenção dos veículos dotados de compactadores com volumes de 10, 15 e 19 m<sup>3</sup>, que compõem a frota da empresa.

Considerações acerca de indicadores econômicos, preço do litro do óleo diesel e valores de revenda do veículo com diferentes quantidades de tempo de uso foram feitas com o intuito de tornar a análise mais condizente com a realidade. Ainda, foram incluídos no estudo de viabilidade, o investimento adicional por veículo pela aquisição do sistema HRB e a possibilidade de venda de crédito de carbono.

#### **4.1.1. Coleta de dados experimentais**

Os dados de consumo de combustível do caminhão MAN 24.280 foram obtidos de testes realizados entre os dias 8 e 11 de maio de 2012, na pista de testes da empresa MAN, localizada em Resende - RJ. A figura 32 apresenta uma vista aérea do circuito utilizado para os testes.



**Figura 32: Vista aérea da pista de testes da empresa MAN (Resende - RJ)**

Fonte: MAN (2012)

Foram obtidos valores de consumo de combustível do veículo em estudo com o sistema HRB ativado e desativado. Para isso, alguns passos pré-definidos foram seguidos para tornar a coleta de dados padronizada. A sequência de atividades é descrita a seguir:

- Com o veículo inicialmente parado, iniciou-se o seu movimento acelerando-o até alcançar a velocidade de 40 km/h, com o pedal do acelerador totalmente acionado.
- Uma vez atingida essa velocidade, e com o HRB ativado, o pedal do acelerador foi

aliviado, deixando o veículo livre de forças motoras. Com isso, este foi sendo desacelerado pelas forças dissipativas de atrito com o solo e o ar, parando completamente após um intervalo de tempo.

- Nas posições onde o veículo se encontrava parado, foram colocados objetos que identificassem esses pontos, estabelecendo-se um procedimento padrão de percurso no circuito realizado pelo veículo nas situações de HRB ativado e desativado.
- A diferença de distância percorrida pelo veículo durante sua desaceleração entre as condições de HRB ativado e desativado foram compensadas por meio do sistema de freios, mantendo-se os pontos de parada especificados anteriormente.

A duração do procedimento descrito foi de duas horas para ambas as situações, HRB ativado e desativado. A figura 33 ilustra o circuito de testes que o veículo percorreu, indicando os pontos de parada do caminhão e aqueles em que este se encontrava a 30 km/h.



Figura 33: Circuito de testes com marcações de pontos de paradas e outras velocidades  
Fonte: MAN (2012)

A tabela 5 apresenta os resultados obtidos com os testes desenvolvidos durante o período de 8 a 11 de maio de 2012.

Tabela 5: Resultados dos testes com o veículo MAN 24.280

Data	Sistema HRB ativo		Sistema HRB inativo	
	Quilometragem (km)	Consumo (km/l)	Quilometragem (km)	Consumo (km/l)
08/05/2012	24,7	1,33	24,8	1,08
09/05/2012	24,5	1,35	24,5	1,07
10/05/2012	24,5	1,34	25	1,06
11/05/2012	24,6	1,37	24,7	1,12
<b>Total</b>	98,3	1,35	99	1,08
<b>Média</b>	24,57	1,35	24,7	1,08

Fonte: Elaboração do autor baseado em MAN (2012)

Comparando-se os resultados alcançados com o sistema HRB ativo e inativo, constata-se uma economia de 25% de combustível, quando o veículo utiliza o sistema HRB.

#### **4.1.2. Dados dos veículos com compactadores da COMLURB**

A tabela 6 contém o número total de veículos dotados de compactadores de 10, 15 e 19 m<sup>3</sup>, que são utilizados para atender à demanda de coleta de resíduos urbanos pela COMLURB.

**Tabela 6: Quantidade de veículos, para cada tipo de compactador, da frota da COMLURB**

Volume do Compactador	Número total de veículos na frota
10 m <sup>3</sup>	103
15 m <sup>3</sup>	100
19 m <sup>3</sup>	33

Fonte: Elaboração do autor baseado em COMLURB (2012)

As tabelas 7, 8, 9 e 10 apresentam os dados gerais dos veículos com compactadores que fazem parte da frota da COMLURB. A tabela 7 traz informações gerais a respeito de cada tipo de veículo, como: marca (ou fabricante), modelo, descrição, utilização/aplicação, valor do veículo (com compactador) e seu valor de revenda, considerando o tempo de vida útil do veículo de 5 anos. A tabela 8 também traz dados gerais dos veículos, porém acerca da motorização que os equipa.

**Tabela 7: Dados gerais dos veículos com compactadores de 10, 15 e 19 m<sup>3</sup> da frota da COMLURB**

<b>DADOS GERAIS DOS VEÍCULOS</b>								
<b>TIPO</b>	<b>MARCA</b>	<b>MODELO</b>	<b>PESO BRUTO (kg)</b>	<b>CAPACIDADE DE CARGA (kg)</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>UTILIZAÇÃO / APLICAÇÃO</b>	<b>VALOR DO VEÍCULO + COMPACTADOR (R\$)</b>	<b>VALOR DE REVENDA</b>
P7	Volkswagen	VW 24.220	23.000	12.000	3 eixos com compactador de 19m <sup>3</sup>	Coleta de resíduos em área residencial urbana	385.000,00	30% do valor de um veículo novo
P6	Volkswagen	VW 17.180	17.000	7.500	2 eixos com compactador de 15m <sup>3</sup>	Coleta de resíduos em área residencial urbana	350.000,00	30% do valor de um veículo novo
P5	Volkswagen	VW 15.180	15.000	5.500	2 eixos com compactador de 10m <sup>3</sup>	Coleta de resíduos em área residencial urbana	280.000,00	30% do valor de um veículo novo

Fonte: Elaboração do autor baseado em COMLURB (2012)

**Tabela 8: Dados da motorização dos veículos com compactadores de 10, 15 e 19 m<sup>3</sup> da frota da COMLURB**

<b>DADOS DA MOTORIZAÇÃO DOS VEÍCULOS</b>						
<b>TIPO</b>	<b>MARCA</b>	<b>MODELO</b>	<b>MOTOR</b>	<b>TORQUE</b>	<b>TAXA DE COMPRESSÃO</b>	<b>POTÊNCIA (hp)</b>
P7	Volkswagen	VW 24.220	Turbodiesel 6 cilindros	97 kgf x m	17,3 : 1	250
P6	Volkswagen	VW 17.180	Turbodiesel 6 cilindros	75 kgf x m	17,3 : 1	210
P5	Volkswagen	VW 15.180	Turbodiesel 6 cilindros	58 kgf x m	17,3 : 1	180

Fonte: Elaboração do autor baseado em COMLURB (2012)

A tabela 9 apresenta dados operacionais do ano de 2012 para os três tipos de veículos, como: distância média percorrida por dia, número de dias de operação por mês, distância média anual percorrida pelo total de veículos do mesmo tipo, consumo de diesel diário para cada veículo, eficiência energética e consumo total de combustível pelo número total de veículos.

**Tabela 9: Dados de operação dos veículos com compactadores de 10, 15 e 19 m<sup>3</sup> da frota da COMLURB**

<b>DADOS DE OPERAÇÃO DOS VEÍCULOS</b>								
<b>TIPO</b>	<b>MARCA</b>	<b>MODELO</b>	<b>DISTÂNCIA MÉDIA PERCORRIDA POR DIA (km)</b>	<b>NÚMERO DE DIAS DE OPERAÇÃO POR MÊS</b>	<b>DISTÂNCIA MÉDIA ANUAL (km)</b>	<b>CONSUMO DE DIESEL POR DIA (l)</b>	<b>EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (km/l)</b>	<b>CONSUMO ANUAL DE DIESEL (l/ano)</b>
P7	Volkswagen	VW 24.220	160	28	5.537.280	107	1,5	3.691.520
P6	Volkswagen	VW 17.180	150	28	5.040.000	88	1,7	2.964.706
P5	Volkswagen	VW 15.180	165	28	1.829.520	75	2,2	831.600

Fonte: Elaboração do autor baseado em COMLURB (2012)

A tabela 10 traz informações a respeito do custo de manutenção de cada tipo de veículo em estudo. São informados os gastos relativos ao sistema de freios, conjunto motor/câmbio/embreagem, pneus, filtros e lubrificantes, com base no ano de 2012.

**Tabela 10: Dados de custo de manutenção dos veículos com compactadores de 10, 15 e 19 m<sup>3</sup> da frota da COMLURB**

<b>DADOS DE CUSTO DE MANUTENÇÃO DOS VEÍCULOS</b>						
<b>TIPO</b>	<b>MARCA</b>	<b>MODELO</b>	<b>SISTEMA DE FREIOS (R\$)</b>	<b>MOTOR/CÂMBIO/EMBREAGEM (R\$)</b>	<b>PNEUS (R\$)</b>	<b>LUBRIFICANTES E FILTROS (R\$)</b>
P7	Volkswagen	VW 24.220	2.400,00	18.500,00	12.500,00	8.000,00
P6	Volkswagen	VW 17.180	1.600,00	13.000,00	7.000,00	6.000,00
P5	Volkswagen	VW 15.180	1.300,00	10.000,00	7.000,00	5.000,00

Fonte: Elaboração do autor baseado em COMLURB (2012)

### **4.1.3. Considerações gerais**

As considerações impostas ao método de análise financeira estão divididas em: indicadores econômicos; preço do litro do óleo diesel; valor de revenda do veículo; custo adicional pela aquisição do sistema híbrido e venda de crédito de carbono.

#### **4.1.3.1. Indicadores econômicos**

Para a aplicação do método de avaliação da viabilidade financeira da tecnologia híbrida diesel-hidráulica, que se baseia em um fluxo de caixa, é necessário estabelecer as taxas de desconto, compostas pela taxa de inflação e a taxa SELIC, praticada nos dias atuais.

Segundo a Resolução número 003991, de 30 de junho de 2011, o Banco Central do Brasil (BCB) fixou a meta para a inflação, para o ano de 2013, em 4,5%, com um intervalo de tolerância de menos 2% e de mais 2% (TOMBINI, 2011). Para o ano de 2014, a Resolução número 4.095 do BCB, de 28 de junho de 2012, fixou a meta, para o ano de 2014, também em 4,5% e com o mesmo intervalo de tolerância de 2013 (TOMBINI, 2012).

Dessa forma, considerou-se como uma estimativa razoável para a taxa de inflação a ser utilizada no método desenvolvido, que se apoia em cenários futuros de até 5 anos, o valor de 4,5%.

A taxa SELIC considerada neste trabalho foi a mesma praticada no mês de outubro de 2012 que, segundo a Ata da 170ª Reunião do COPOM, ocorrida nos dias 9 e 10 de outubro de 2012, foi fixada em 7,25% ao ano (TOMBINI *et al.*, 2012).

#### **4.1.3.2. Preço do litro do óleo diesel**

Segundo dados obtidos da COMLURB, o valor pago pelo litro de óleo diesel é de R\$1,85, tomando-se por base o ano de 2012. Considerando-se que o método trabalha com cenários futuros, estabeleceu-se uma projeção do valor do óleo diesel para os próximos anos, aplicando-se um acréscimo percentual anual em seu valor que é igual ao aumento médio observado em seu preço nos últimos 5 anos.

A tabela 11 apresenta o histórico de preços médios do litro do óleo diesel em cada um dos meses dos últimos 5 anos. Tais valores foram obtidos por meio de consulta ao Sistema de Levantamento de Preços (SLP) da ANP, pesquisando-se os valores médios

mensais do diesel, no âmbito nacional.

**Tabela 11: Valores médios do preço do diesel no Brasil de Novembro de 2007 a Outubro de 2012**

Ano 1		Ano 2		Ano 3		Ano 4		Ano 5	
Mês	Valor (R\$)								
nov/07	1,88	nov/08	2,13	nov/09	2,00	nov/10	2,00	nov/11	2,03
dez/07	1,88	dez/08	2,13	dez/09	2,00	dez/10	2,00	dez/11	2,03
jan/08	1,89	jan/09	2,13	jan/10	2,01	jan/11	2,01	jan/12	2,04
fev/08	1,89	fev/09	2,13	fev/10	2,01	fev/11	2,02	fev/12	2,04
mar/08	1,90	mar/09	2,13	mar/10	2,01	mar/11	2,03	mar/12	2,04
abr/08	1,90	abr/09	2,12	abr/10	2,01	abr/11	2,03	abr/12	2,05
mai/08	2,06	mai/09	2,12	mai/10	2,00	mai/11	2,03	mai/12	2,05
jun/08	2,07	jun/09	2,08	jun/10	2,00	jun/11	2,03	jun/12	2,05
jul/08	2,11	jul/09	2,02	jul/10	2,00	jul/11	2,03	jul/12	2,08
ago/08	2,12	ago/09	2,01	ago/10	2,00	ago/11	2,03	ago/12	2,13
set/08	2,12	set/09	2,00	set/10	2,00	set/11	2,03	set/12	2,14
out/08	2,12	out/09	2,00	out/10	2,00	out/11	2,03	out/12	2,14

Fonte: Elaboração do autor baseado em dados da ANP

Com base na tabela 11, tem-se que, em um período de 5 anos (de novembro de 2007 a outubro de 2012), o aumento absoluto no preço do litro do óleo diesel foi de R\$0,26 e o percentual de acréscimo no seu valor, ao ano, é dado pela taxa  $i_{5 \text{ anos}}$ :

$$i_{5 \text{ anos}} = \left( \sqrt[5]{\frac{2,14}{1,88}} \right) - 1 = 0,027 = 2,7\% \quad (38)$$

Considerando-se o último ano, tem-se que o percentual de acréscimo no preço do óleo diesel é dado pela taxa  $i_{1 \text{ ano}}$ :

$$i_{1 \text{ ano}} = \left( \frac{2,14}{2,03} \right) - 1 = 0,056 = 5,6\% \quad (39)$$

Comparando-se  $i_{5 \text{ anos}}$  com  $i_{1 \text{ ano}}$ , verifica-se uma possível tendência de o valor do litro do óleo diesel sofrer um acréscimo maior que os 2,7% encontrados no período de 5 anos avaliado, ficando mais próximo dos 5,6%.

Para o método desenvolvido neste trabalho, serão consideradas duas situações para a variação no preço do diesel: uma com aumento anual de 2,7% e outra de 5,6%.

#### 4.1.3.3. Valor de revenda do veículo

Segundo informação obtida junto à COMLURB, o tempo de vida útil médio dos veículos de sua frota é de 5 anos. Ainda, para esse tempo, o valor de revenda do veículo representa 30% do valor de um novo. Com o objetivo de realizar uma melhor análise do método que estuda a viabilidade do sistema híbrido diesel-hidráulico, serão considerados cenários em que a substituição da frota poderá ocorrer, além dos 5 anos já previstos, também em 2, 3 ou 4 anos. Dessa forma, faz-se necessário encontrar um valor de revenda praticado no mercado para a venda de um caminhão com menos de 5 anos de uso.

Sabe-se que a carroceria de um veículo de coleta de resíduos, a unidade compactadora, corresponde a um valor significativo do preço total pago pelo caminhão com compactador, conforme ilustra a tabela 12. Para o método proposto neste trabalho, há interesse somente no acréscimo de custo de se introduzir o sistema híbrido no caminhão. Ou seja, trabalha-se com a diferença entre os valores do veículo com e sem o HRB.

Dessa forma, considera-se somente o valor de revenda do caminhão, desprezando-se o valor residual da carroceria. Porém, cabe ressaltar que, ao final de 5 anos de uso de um veículo de coleta de lixo, a carroceria já está comprometida pelo desgaste e que, em casos de revenda da unidade compactadora antes desse período de tempo, pode-se ter um valor de revenda mais expressivo, dado o melhor estado de conservação da mesma, restando-lhe algum tempo de vida útil.

**Tabela 12: Valores do caminhão e carroceria compactadora de lixo novos**

<b>Veículo</b>	<b>Valor do Veículo</b>	<b>Valor da Carroceria</b>	<b>Valor Total</b>	<b>Percentual da Carroceria do Valor Total</b>
VW 24.220	R\$ 170.154,00	R\$ 214.846,00	R\$ 385.000,00	56%
VW 17.180	R\$ 143.199,00	R\$ 206.801,00	R\$ 350.000,00	59%
VW 15.180	R\$ 140.037,00	R\$ 139.963,00	R\$ 280.000,00	50%

Fonte: Elaboração do autor baseado em COMLURB (2012) e FIPE

A tabela 13 apresenta os valores de mercado dos veículos com 1, 2, 3, 4 e 5 anos de uso, de acordo com a tabela FIPE (Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas), referente ao mês de outubro de 2012.

**Tabela 13: Valores de mercado dos veículos**

<b>Veículo</b>	<b>1 ano</b>	<b>2 anos</b>	<b>3 anos</b>	<b>4 anos</b>	<b>5 anos</b>
VW 24.220	R\$ 147.726,00	R\$ 142.855,00	R\$ 137.578,00	R\$ 130.895,00	R\$ 126.950,00
VW 17.180	R\$ 121.520,00	R\$ 117.027,00	R\$ 113.225,00	R\$ 108.043,00	R\$ 103.158,00
VW 15.180	R\$ 119.056,00	R\$ 110.632,00	R\$ 106.297,00	R\$ 102.320,00	R\$ 98.520,00

Fonte: Elaboração do autor baseado em FIPE

A tabela 14 mostra as taxas residuais dos veículos, isto é, os percentuais do valor total do caminhão com compactador que os valores de revenda representam, apresentados na tabela 13.

**Tabela 14: Taxas residuais dos veículos**

<b>Veículo</b>	<b>1 ano</b>	<b>2 anos</b>	<b>3 anos</b>	<b>4 anos</b>	<b>5 anos</b>
VW 24.220	38,37%	37,11%	35,73%	34,00%	32,97%
VW 17.180	34,72%	33,44%	32,35%	30,87%	29,47%
VW 15.180	42,52%	39,51%	37,96%	36,54%	35,19%

Fonte: Elaboração do autor

Da tabela 14, observa-se que a coluna que representa o percentual para os veículos com 5 anos de uso contém valores próximos de 30%, conforme informado pela COMLURB como referência para o valor de revenda do veículo com compactador após seu tempo médio de vida útil. Assim, normalizando os valores da tabela 14, considerando valores iguais a 30% para os percentuais da última coluna, constrói-se a tabela 15.

**Tabela 15: Valores normalizados da tabela 10**

<b>Veículo</b>	<b>1 ano</b>	<b>2 anos</b>	<b>3 anos</b>	<b>4 anos</b>	<b>5 anos</b>
VW 24.220	34,91%	33,76%	32,51%	30,93%	30,00%
VW 17.180	35,34%	34,03%	32,93%	31,42%	30,00%
VW 15.180	36,25%	33,69%	32,37%	31,16%	30,00%

Fonte: Elaboração do autor

#### **4.1.3.4. Custo adicional pela aquisição do sistema híbrido**

Experiências internacionais indicam que o sistema híbrido eleva em 10 a 15% o custo de produção do veículo (RODRIGUES, 2010). Adotando-se uma postura conservadora, considera-se como uma estimativa razoável para o acréscimo no valor do veículo (somente o caminhão) pela introdução do sistema HRB, da empresa MAN, o percentual de 10% sobre o valor a ser pago pelo conjunto caminhão e carroceria.

Conforme visto anteriormente, a unidade compactadora representa cerca de 50%, ou mais, do valor do veículo. Assim, trabalha-se com um acréscimo total equivalente a 20, 24,44 e 22,63% sobre, somente, o valor do veículo, equipado com unidade compactadora de 10, 15 e 19 m<sup>3</sup>, respectivamente.

Dessa forma, deduz-se que os valores apresentados na tabela 16 representem uma razoável aproximação do valor final do veículo híbrido com a unidade compactadora.

**Tabela 16: Valores do caminhão com compactador**

<b>Veículo</b>	<b>Sem HRB</b>	<b>Com HRB</b>
VW 24.220	R\$ 385.000,00	R\$ 423.500,00
VW 17.180	R\$ 350.000,00	R\$ 385.000,00
VW 15.180	R\$ 280.000,00	R\$ 308.000,00

Fonte: Elaboração do autor

A utilização do sistema híbrido hidráulico provoca uma redução de, aproximadamente, 50% no custo de manutenção do sistema de freios de um veículo (CHAVES; GOMES, 2012). Assim, dos valores apresentados na tabela 10, constrói-se a tabela 17.

**Tabela 17: Custo de manutenção do sistema de freios**

<b>Veículo</b>	<b>Sem HRB</b>	<b>Com HRB</b>
VW 24.220	R\$ 2.400,00	R\$ 1.200,00
VW 17.180	R\$ 1.600,00	R\$ 800,00
VW 15.180	R\$ 1.300,00	R\$ 650,00

Fonte: Elaboração do autor baseado em Chaves e Gomes (2012) e COMLURB (2012)

#### **4.1.3.5. Venda de crédito de carbono**

A redução no consumo de combustível com o uso do sistema híbrido permite a possibilidade de venda de crédito de carbono, visto que será emitida uma menor quantidade de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no ar atmosférico (MATTOS, 2011). A Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros de São Paulo (BM&F BOVESPA) já realizou três leilões de crédito de carbono oriundos de aterros sanitários da Prefeitura de São Paulo, sendo o primeiro deles ocorrido em 2007, em que a tonelada de carbono foi negociada a R\$42,00 (LIPINSKI, 2012). O segundo leilão aconteceu em 2008 e o valor obtido para cada crédito de carbono, equivalente a uma tonelada de carbono, foi de, aproximadamente, R\$51,90 (LIPINSKI, 2012).

Tendo em vista a crise econômica mundial, que assolou a Europa em 2011, o mercado de crédito de carbono sofreu uma retração muito grande. O reflexo desse novo cenário mundial, que teve continuidade no ano de 2012, foi que no terceiro leilão de crédito de carbono, ocorrido em 12 de junho de 2012, a tonelada de carbono foi negociada a R\$8,46 (LIPINSKI, 2012).

Considerando que a economia mundial mostra sinais de crescimento, embora lento, e que esse fato tem como consequência direta a emissão de uma maior quantidade de poluentes atmosféricos, mesmo existindo e aumentando, cada vez mais, o apelo por um planeta mais sustentável, é razoável supor que a demanda pela compra de crédito de carbono volte a ser expressiva, elevando-se seu preço. Assim, para o método apresentado neste trabalho, foram consideradas duas situações, uma com o maior valor obtido, de R\$51,90, e outra com o menor valor, R\$8,46.

Para se encontrar a redução na emissão de CO<sub>2</sub>, considerou-se o fator de emissão igual a 2,671 kg de CO<sub>2</sub> por litro de diesel consumido (MMA, 2011).

#### **4.1.4. Resultados para a análise financeira**

O método para análise financeira será aplicado aos veículos de coleta de resíduos da COMLURB com compactadores de 10, 15 e 19 m<sup>3</sup>. A tabela 9, do item 4.1.2, apresenta os seus dados operacionais do ano de 2012, fornecidos pela companhia.

Com o objetivo de prever as mais diversas situações operacionais desses veículos, todos os cenários consideram a variação da distância média mensal percorrida pelo veículo (d) e da taxa de redução no consumo de combustível  $i_{\text{cons}}$ , que assumem os seguintes valores:

$$\left\{ \begin{array}{l} d = 0, 500, 1.000, 1.500, \dots, 4.500, 5.000 \text{ km} \\ i_{\text{cons}} = 0,15 (15\%), 0,25 (25\%) \text{ e } 0,30 (30\%) \end{array} \right.$$

O valor de distância igual a 0 (zero) somente foi incluído para facilitar a construção gráfica, que será mostrada mais adiante.

Os cenários serão diferenciados pelo tempo de renovação da frota (T) e pela taxa anual de aumento do preço do litro do óleo diesel ( $i_D$ ), respeitando-se a definição das variáveis e as considerações a respeito dos valores que estas deverão assumir nas diversas situações a que lhes são impostas, conforme exposto anteriormente. Ainda, todos os resultados que serão apresentados dizem respeito ao valor encontrado para um único veículo da frota.

#### 4.1.4.1. Veículo com compactador de 19 m<sup>3</sup>

É para este tipo de veículo que a empresa MAN está desenvolvendo o sistema híbrido diesel-hidráulico HRB, sendo o de maior capacidade de carga entre os caminhões que realizam a coleta de resíduos em área urbana na cidade do Rio de Janeiro, pela COMLURB. É, também, o veículo com compactador em maior quantidade na frota da companhia.

Das considerações feitas neste capítulo, os valores para as variáveis fixas, que serão comuns a todos os cenários elaborados para este tipo de veículo, estão apresentados na tabela 18.

**Tabela 18: Valores das variáveis para o veículo com compactador de 19 m<sup>3</sup>**

VARIÁVEL	VALOR
<b>ÍNDICES ECONÔMICOS</b>	
$i_{SELIC}$	7,25%
$i_{inf}$	4,5%
<b>VEÍCULO</b>	
$V_c$	R\$ 170.154,00
$V_{cc}$	R\$ 385.000,00
$VH_{cc}$	R\$ 423.500,00
<b>MANUTENÇÃO</b>	
$CM_{SF}$	R\$ 2.400,00
$CM_{MCE}$	R\$ 18.500,00
$CM_P$	R\$ 12.500,00
$CM_{LF}$	R\$ 8.000,00
$CMH_{SF}$	R\$ 1.200,00
$CMH_{MCE}$	R\$ 18.500,00
$CMH_P$	R\$ 12.500,00
$CMH_{LF}$	R\$ 8.000,00
<b>OPERAÇÃO</b>	
e	1,5
$V_D$	1,85

Fonte: Elaboração do autor

Utilizando-se a equação (18), obtêm-se os valores do consumo de combustível do veículo híbrido, de acordo com as taxas de redução no consumo pré-definidas. Dessa forma, tem-se que:

$$e_{h_{15\%}} = 1,725 \text{ km /l}; e_{h_{25\%}} = 1,875 \text{ km /l}; e_{h_{30\%}} = 1,950 \text{ km/l}$$

Das equações (16) e (17), encontram-se os valores da quantidade de combustível gasto (F e  $F_h$ ) para cada veículo padrão e híbrido, respectivamente, por um período de um ano. Considerando-se as distâncias (d) previamente definidas, o consumo do veículo padrão e dos híbridos, estes obtidos anteriormente para cada taxa  $i_{\text{cons}}$ , tem-se a tabela 19:

**Tabela 19: Consumo de combustível anual dos veículos padrão e híbrido**

CONSUMO DE COMBUSTÍVEL ANUAL					
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$d_{\text{anual}}$ (km)	F (l)	$F_{h_{15\%}}$ (l)	$F_{h_{25\%}}$ (l)	$F_{h_{30\%}}$ (l)
0	0	0	0	0	0
500	6.000	4.000	3.478	3.200	3.077
1.000	12.000	8.000	6.957	6.400	6.154
1.500	18.000	12.000	10.435	9.600	9.231
2.000	24.000	16.000	13.913	12.800	12.308
2.500	30.000	20.000	17.391	16.000	15.385
3.000	36.000	24.000	20.870	19.200	18.462
3.500	42.000	28.000	24.348	22.400	21.538
4.000	48.000	32.000	27.826	25.600	24.615
4.500	54.000	36.000	31.304	28.800	27.692
5.000	60.000	40.000	34.783	32.000	30.769

Fonte: Elaboração do autor

Da equação (19), calcula-se a redução na quantidade de combustível gasto ( $\Delta F$ ). Os valores estão expressos na tabela 20.

**Tabela 20: Redução no consumo de combustível anual por conta do sistema híbrido**

<b>REDUÇÃO NO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL ANUAL</b>				
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$d_{\text{anual}}$ (km)	$\Delta F_{15\%}$ (l)	$\Delta F_{25\%}$ (l)	$\Delta F_{30\%}$ (l)
0	0	0	0	0
500	6.000	522	800	923
1.000	12.000	1.043	1.600	1.846
1.500	18.000	1.565	2.400	2.769
2.000	24.000	2.087	3.200	3.692
2.500	30.000	2.609	4.000	4.615
3.000	36.000	3.130	4.800	5.538
3.500	42.000	3.652	5.600	6.462
4.000	48.000	4.174	6.400	7.385
4.500	54.000	4.696	7.200	8.308
5.000	60.000	5.217	8.000	9.231

Fonte: Elaboração do autor

As tabelas 21, 22 e 23 apresentam os resultados da aplicação das equações (20) e (21), para  $i_{\text{cons}} = 15, 25$  e  $30\%$ , respectivamente, variando-se o valor da distância média mensal percorrida pelo veículo, para cada um dos anos do período de tempo T, e considerando a taxa de aumento anual do preço do diesel igual a  $2,7\%$ .

Tabela 21: Redução no custo de operação anual do veículo híbrido para  $i_{\text{cons}} = 15\%$  e  $i_D = 2,7\%$

REDUÇÃO NO CUSTO DE OPERAÇÃO						
$d_{\text{mensal}}$ (km)	REDUÇÃO	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5
0	$\Delta CO_n$	0	0	0	0	0
	$\Delta CO_{VP_n}$	0	0	0	0	0
500	$\Delta CO_n$	965,22	991,28	1.018,04	1.045,53	1.073,76
	$\Delta CO_{VP_n}$	899,97	861,79	825,23	790,22	756,69
1.000	$\Delta CO_n$	1.930,43	1.982,56	2.036,09	2.091,06	2.147,52
	$\Delta CO_{VP_n}$	1.799,94	1.723,58	1.650,46	1.580,44	1.513,39
1.500	$\Delta CO_n$	2.895,65	2.973,83	3.054,13	3.136,59	3.221,28
	$\Delta CO_{VP_n}$	2.699,91	2.585,37	2.475,68	2.370,66	2.270,08
2.000	$\Delta CO_n$	3.860,87	3.965,11	4.072,17	4.182,12	4.295,04
	$\Delta CO_{VP_n}$	3.599,88	3.447,16	3.300,91	3.160,87	3.026,78
2.500	$\Delta CO_n$	4.826,09	4.956,39	5.090,21	5.227,65	5.368,80
	$\Delta CO_{VP_n}$	4.499,85	4.308,95	4.126,14	3.951,09	3.783,47
3.000	$\Delta CO_n$	5.791,30	5.947,67	6.108,26	6.273,18	6.442,56
	$\Delta CO_{VP_n}$	5.399,82	5.170,73	4.951,37	4.741,31	4.540,17
3.500	$\Delta CO_n$	6.756,52	6.938,95	7.126,30	7.318,71	7.516,31
	$\Delta CO_{VP_n}$	6.299,79	6.032,52	5.776,60	5.531,53	5.296,86
4.000	$\Delta CO_n$	7.721,74	7.930,23	8.144,34	8.364,24	8.590,07
	$\Delta CO_{VP_n}$	7.199,76	6.894,31	6.601,83	6.321,75	6.053,55
4.500	$\Delta CO_n$	8.686,96	8.921,50	9.162,38	9.409,77	9.663,83
	$\Delta CO_{VP_n}$	8.099,73	7.756,10	7.427,05	7.111,97	6.810,25
5.000	$\Delta CO_n$	9.652,17	9.912,78	10.180,43	10.455,30	10.737,59
	$\Delta CO_{VP_n}$	8.999,70	8.617,89	8.252,28	7.902,19	7.566,94

Fonte: Elaboração do autor

Tabela 22: Redução no custo de operação anual do veículo híbrido para  $i_{\text{cons}} = 25\%$  e  $i_p = 2,7\%$

REDUÇÃO NO CUSTO DE OPERAÇÃO						
$d_{\text{mensal}}$ (km)	REDUÇÃO	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5
0	$\Delta CO_n$	0	0	0	0	0
	$\Delta CO_{VP_n}$	0	0	0	0	0
500	$\Delta CO_n$	1.480,00	1.519,96	1.561,00	1.603,15	1.646,43
	$\Delta CO_{VP_n}$	1.379,95	1.321,41	1.265,35	1.211,67	1.160,26
1.000	$\Delta CO_n$	2.960,00	3.039,92	3.122,00	3.206,29	3.292,86
	$\Delta CO_{VP_n}$	2.759,91	2.642,82	2.530,70	2.423,34	2.320,53
1.500	$\Delta CO_n$	4.440,00	4.559,88	4.683,00	4.809,44	4.939,29
	$\Delta CO_{VP_n}$	4.139,86	3.964,23	3.796,05	3.635,01	3.480,79
2.000	$\Delta CO_n$	5.920,00	6.079,84	6.244,00	6.412,58	6.585,72
	$\Delta CO_{VP_n}$	5.519,81	5.285,64	5.061,40	4.846,67	4.641,06
2.500	$\Delta CO_n$	7.400,00	7.599,80	7.804,99	8.015,73	8.232,15
	$\Delta CO_{VP_n}$	6.899,77	6.607,05	6.326,75	6.058,34	5.801,32
3.000	$\Delta CO_n$	8.880,00	9.119,76	9.365,99	9.618,88	9.878,58
	$\Delta CO_{VP_n}$	8.279,72	7.928,46	7.592,10	7.270,01	6.961,59
3.500	$\Delta CO_n$	10.360,00	10.639,72	10.926,99	11.222,02	11.525,02
	$\Delta CO_{VP_n}$	9.659,67	9.249,87	8.857,45	8.481,68	8.121,85
4.000	$\Delta CO_n$	11.840,00	12.159,68	12.487,99	12.825,17	13.171,45
	$\Delta CO_{VP_n}$	11.039,63	10.571,28	10.122,80	9.693,35	9.282,12
4.500	$\Delta CO_n$	13.320,00	13.679,64	14.048,99	14.428,31	14.817,88
	$\Delta CO_{VP_n}$	12.419,58	11.892,69	11.388,15	10.905,02	10.442,38
5.000	$\Delta CO_n$	14.800,00	15.199,60	15.609,99	16.031,46	16.464,31
	$\Delta CO_{VP_n}$	13.799,53	13.214,10	12.653,50	12.116,69	11.602,64

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 23: Redução no custo de operação anual do veículo híbrido para  $i_{\text{cons}} = 30\%$  e  $i_p = 2,7\%$**

<b>REDUÇÃO NO CUSTO DE OPERAÇÃO</b>						
<b><math>d_{\text{mensal}}</math> (km)</b>	<b>REDUÇÃO</b>	<b>ANO 1</b>	<b>ANO 2</b>	<b>ANO 3</b>	<b>ANO 4</b>	<b>ANO 5</b>
<b>0</b>	$\Delta CO_n$	0	0	0	0	0
	$\Delta CO_{VP_n}$	0	0	0	0	0
<b>500</b>	$\Delta CO_n$	1.707,69	1.753,80	1.801,15	1.849,78	1.899,73
	$\Delta CO_{VP_n}$	1.592,25	1.524,70	1.460,02	1.398,08	1.338,77
<b>1.000</b>	$\Delta CO_n$	3.415,38	3.507,60	3.602,31	3.699,57	3.799,46
	$\Delta CO_{VP_n}$	3.184,51	3.049,41	2.920,04	2.796,16	2.677,53
<b>1.500</b>	$\Delta CO_n$	5.123,08	5.261,40	5.403,46	5.549,35	5.699,18
	$\Delta CO_{VP_n}$	4.776,76	4.574,11	4.380,06	4.194,24	4.016,30
<b>2.000</b>	$\Delta CO_n$	6.830,77	7.015,20	7.204,61	7.399,13	7.598,91
	$\Delta CO_{VP_n}$	6.369,02	6.098,81	5.840,08	5.592,32	5.355,07
<b>2.500</b>	$\Delta CO_n$	8.538,46	8.769,00	9.005,76	9.248,92	9.498,64
	$\Delta CO_{VP_n}$	7.961,27	7.623,52	7.300,10	6.990,40	6.693,83
<b>3.000</b>	$\Delta CO_n$	10.246,15	10.522,80	10.806,92	11.098,70	11.398,37
	$\Delta CO_{VP_n}$	9.553,52	9.148,22	8.760,12	8.388,47	8.032,60
<b>3.500</b>	$\Delta CO_n$	11.953,85	12.276,60	12.608,07	12.948,49	13.298,10
	$\Delta CO_{VP_n}$	11.145,78	10.672,93	10.220,14	9.786,55	9.371,37
<b>4.000</b>	$\Delta CO_n$	13.661,54	14.030,40	14.409,22	14.798,27	15.197,82
	$\Delta CO_{VP_n}$	12.738,03	12.197,63	11.680,15	11.184,63	10.710,13
<b>4.500</b>	$\Delta CO_n$	15.369,23	15.784,20	16.210,37	16.648,05	17.097,55
	$\Delta CO_{VP_n}$	14.330,29	13.722,33	13.140,17	12.582,71	12.048,90
<b>5.000</b>	$\Delta CO_n$	17.076,92	17.538,00	18.011,53	18.497,84	18.997,28
	$\Delta CO_{VP_n}$	15.922,54	15.247,04	14.600,19	13.980,79	13.387,67

Fonte: Elaboração do autor

As tabelas 24, 25 e 26 apresentam os resultados da aplicação das equações (20) e (21), para  $i_{\text{cons}} = 15, 25$  e  $30\%$ , respectivamente, variando-se o valor da distância média mensal percorrida pelo veículo, para cada um dos anos do período de tempo T, e considerando a taxa de aumento anual do preço do diesel igual a  $5,6\%$ .

Tabela 24: Redução no custo de operação anual do veículo híbrido para  $i_{\text{cons}} = 15\%$  e  $i_p = 5,6\%$

REDUÇÃO NO CUSTO DE OPERAÇÃO						
$d_{\text{mensal}}$ (km)	REDUÇÃO	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5
0	$\Delta CO_n$	0	0	0	0	0
	$\Delta CO_{VP_n}$	0	0	0	0	0
500	$\Delta CO_n$	965,22	1.019,27	1.076,35	1.136,62	1.200,28
	$\Delta CO_{VP_n}$	899,97	886,12	872,49	859,07	845,85
1.000	$\Delta CO_n$	1.930,43	2.038,54	2.152,70	2.273,25	2.400,55
	$\Delta CO_{VP_n}$	1.799,94	1.772,25	1.744,98	1.718,14	1.691,70
1.500	$\Delta CO_n$	2.895,65	3.057,81	3.229,05	3.409,87	3.600,83
	$\Delta CO_{VP_n}$	2.699,91	2.658,37	2.617,47	2.577,20	2.537,56
2.000	$\Delta CO_n$	3.860,87	4.077,08	4.305,39	4.546,50	4.801,10
	$\Delta CO_{VP_n}$	3.599,88	3.544,50	3.489,96	3.436,27	3.383,41
2.500	$\Delta CO_n$	4.826,09	5.096,35	5.381,74	5.683,12	6.001,38
	$\Delta CO_{VP_n}$	4.499,85	4.430,62	4.362,46	4.295,34	4.229,26
3.000	$\Delta CO_n$	5.791,30	6.115,62	6.458,09	6.819,75	7.201,65
	$\Delta CO_{VP_n}$	5.399,82	5.316,74	5.234,95	5.154,41	5.075,11
3.500	$\Delta CO_n$	6.756,52	7.134,89	7.534,44	7.956,37	8.401,93
	$\Delta CO_{VP_n}$	6.299,79	6.202,87	6.107,44	6.013,48	5.920,96
4.000	$\Delta CO_n$	7.721,74	8.154,16	8.610,79	9.092,99	9.602,20
	$\Delta CO_{VP_n}$	7.199,76	7.088,99	6.979,93	6.872,55	6.766,81
4.500	$\Delta CO_n$	8.686,96	9.173,43	9.687,14	10.229,62	10.802,48
	$\Delta CO_{VP_n}$	8.099,73	7.975,12	7.852,42	7.731,61	7.612,67
5.000	$\Delta CO_n$	9.652,17	10.192,70	10.763,49	11.366,24	12.002,75
	$\Delta CO_{VP_n}$	8.999,70	8.861,24	8.724,91	8.590,68	8.458,52

Fonte: Elaboração do autor

Tabela 25: Redução no custo de operação anual do veículo híbrido para  $i_{\text{cons}} = 25\%$  e  $i_p = 5,6\%$

REDUÇÃO NO CUSTO DE OPERAÇÃO						
$d_{\text{mensal}}$ (km)	REDUÇÃO	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5
0	$\Delta CO_n$	0	0	0	0	0
	$\Delta CO_{VP_n}$	0	0	0	0	0
500	$\Delta CO_n$	1.480,00	1.562,88	1.650,40	1.742,82	1.840,42
	$\Delta CO_{VP_n}$	1.379,95	1.358,72	1.337,82	1.317,24	1.296,97
1.000	$\Delta CO_n$	2.960,00	3.125,76	3.300,80	3.485,65	3.680,84
	$\Delta CO_{VP_n}$	2.759,91	2.717,45	2.675,64	2.634,48	2.593,95
1.500	$\Delta CO_n$	4.440,00	4.688,64	4.951,20	5.228,47	5.521,27
	$\Delta CO_{VP_n}$	4.139,86	4.076,17	4.013,46	3.951,71	3.890,92
2.000	$\Delta CO_n$	5.920,00	6.251,52	6.601,61	6.971,30	7.361,69
	$\Delta CO_{VP_n}$	5.519,81	5.434,89	5.351,28	5.268,95	5.187,89
2.500	$\Delta CO_n$	7.400,00	7.814,40	8.252,01	8.714,12	9.202,11
	$\Delta CO_{VP_n}$	6.899,77	6.793,62	6.689,10	6.586,19	6.484,86
3.000	$\Delta CO_n$	8.880,00	9.377,28	9.902,41	10.456,94	11.042,53
	$\Delta CO_{VP_n}$	8.279,72	8.152,34	8.026,92	7.903,43	7.781,84
3.500	$\Delta CO_n$	10.360,00	10.940,16	11.552,81	12.199,77	12.882,95
	$\Delta CO_{VP_n}$	9.659,67	9.511,06	9.364,74	9.220,67	9.078,81
4.000	$\Delta CO_n$	11.840,00	12.503,04	13.203,21	13.942,59	14.723,38
	$\Delta CO_{VP_n}$	11.039,63	10.869,79	10.702,56	10.537,90	10.375,78
4.500	$\Delta CO_n$	13.320,00	14.065,92	14.853,61	15.685,41	16.563,80
	$\Delta CO_{VP_n}$	12.419,58	12.228,51	12.040,38	11.855,14	11.672,76
5.000	$\Delta CO_n$	14.800,00	15.628,80	16.504,01	17.428,24	18.404,22
	$\Delta CO_{VP_n}$	13.799,53	13.587,23	13.378,20	13.172,38	12.969,73

Fonte: Elaboração do autor

Tabela 26: Redução no custo de operação anual do veículo híbrido para  $i_{\text{cons}} = 30\%$  e  $i_p = 5,6\%$

REDUÇÃO NO CUSTO DE OPERAÇÃO						
$d_{\text{mensal}}$ (km)	REDUÇÃO	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5
0	$\Delta CO_n$	0	0	0	0	0
	$\Delta CO_{VP_n}$	0	0	0	0	0
500	$\Delta CO_n$	1.707,69	1.803,32	1.904,31	2.010,95	2.123,56
	$\Delta CO_{VP_n}$	1.592,25	1.567,76	1.543,64	1.519,89	1.496,51
1.000	$\Delta CO_n$	3.415,38	3.606,65	3.808,62	4.021,90	4.247,13
	$\Delta CO_{VP_n}$	3.184,51	3.135,52	3.087,28	3.039,78	2.993,01
1.500	$\Delta CO_n$	5.123,08	5.409,97	5.712,93	6.032,85	6.370,69
	$\Delta CO_{VP_n}$	4.776,76	4.703,27	4.630,92	4.559,67	4.489,52
2.000	$\Delta CO_n$	6.830,77	7.213,29	7.617,24	8.043,80	8.494,25
	$\Delta CO_{VP_n}$	6.369,02	6.271,03	6.174,55	6.079,56	5.986,03
2.500	$\Delta CO_n$	8.538,46	9.016,62	9.521,55	10.054,75	10.617,82
	$\Delta CO_{VP_n}$	7.961,27	7.838,79	7.718,19	7.599,45	7.482,54
3.000	$\Delta CO_n$	10.246,15	10.819,94	11.425,86	12.065,70	12.741,38
	$\Delta CO_{VP_n}$	9.553,52	9.406,55	9.261,83	9.119,34	8.979,04
3.500	$\Delta CO_n$	11.953,85	12.623,26	13.330,16	14.076,65	14.864,95
	$\Delta CO_{VP_n}$	11.145,78	10.974,30	10.805,47	10.639,23	10.475,55
4.000	$\Delta CO_n$	13.661,54	14.426,58	15.234,47	16.087,60	16.988,51
	$\Delta CO_{VP_n}$	12.738,03	12.542,06	12.349,11	12.159,12	11.972,06
4.500	$\Delta CO_n$	15.369,23	16.229,91	17.138,78	18.098,55	19.112,07
	$\Delta CO_{VP_n}$	14.330,29	14.109,82	13.892,75	13.679,01	13.468,56
5.000	$\Delta CO_n$	17.076,92	18.033,23	19.043,09	20.109,50	21.235,64
	$\Delta CO_{VP_n}$	15.922,54	15.677,58	15.436,38	15.198,90	14.965,07

Fonte: Elaboração do autor

A redução no consumo de combustível gera, como consequência, uma redução na emissão de  $CO_2$ , conforme exposto no item 4.1.3.5. Assim, tomando-se os resultados da tabela 20 e introduzindo-os na equação (27), são encontrados os valores de redução da emissão de  $CO_2$ .

**Tabela 27: Redução da emissão de CO<sub>2</sub>**

<b>REDUÇÃO DA EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> (kg)</b>			
<b>d<sub>mensal</sub> (km)</b>	<b>G<sub>C15%</sub></b>	<b>G<sub>C25%</sub></b>	<b>G<sub>C30%</sub></b>
0	0	0	0
500	1.394	2.137	2.466
1.000	2.787	4.274	4.931
1.500	4.181	6.410	7.397
2.000	5.574	8.547	9.862
2.500	6.968	10.684	12.328
3.000	8.361	12.821	14.793
3.500	9.755	14.958	17.259
4.000	11.149	17.094	19.724
4.500	12.542	19.231	22.190
5.000	13.936	21.368	24.655

Fonte: Elaboração do autor

Pela equação (29), considerando-se os valores do crédito de carbono iguais a R\$ 8,46 e R\$ 51,90, tal como foi definido no item 4.1.3.5, tem-se as tabelas 28 e 29.

**Tabela 28: Lucro da venda de crédito de carbono (Z<sub>c</sub> = R\$ 8,46)**

<b>LUCRO ANUAL DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO (Z<sub>c</sub> = R\$ 8,46)</b>			
<b>d<sub>mensal</sub> (km)</b>	<b>L<sub>C15%</sub></b>	<b>L<sub>C25%</sub></b>	<b>L<sub>C30%</sub></b>
0	0	0	0
500	11,79	18,08	20,86
1.000	23,58	36,15	41,72
1.500	35,37	54,23	62,58
2.000	47,16	72,31	83,43
2.500	58,95	90,39	104,29
3.000	70,74	108,46	125,15
3.500	82,53	126,54	146,01
4.000	94,32	144,62	166,87
4.500	106,11	162,70	187,73
5.000	117,90	180,77	208,58

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 29: Lucro da venda de crédito de carbono ( $Z_c = R\$ 51,90$ )**

<b>LUCRO ANUAL DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO (<math>Z_c = R\\$ 51,90</math>)</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$L_{C15\%}$	$L_{C25\%}$	$L_{C30\%}$
0	0	0	0
500	72,33	110,90	127,96
1.000	144,65	221,80	255,92
1.500	216,98	332,70	383,88
2.000	289,30	443,60	511,85
2.500	361,63	554,50	639,81
3.000	433,96	665,40	767,77
3.500	506,28	776,30	895,73
4.000	578,61	887,20	1.023,69
4.500	650,93	998,10	1.151,65
5.000	723,26	1.109,00	1.279,61

Fonte: Elaboração do autor

Todos os resultados apresentados anteriormente serão utilizados nos cenários propostos para o veículo com compactador de 19 m<sup>3</sup> e se referem a um único veículo. Conforme será visto, a variação do tempo de renovação da frota e da taxa de aumento anual do preço do óleo diesel causará impacto no retorno financeiro, devido às alterações na redução dos custos de operação do veículo para cada cenário considerado.

#### **4.1.4.1.1. Cenário A.1: $T = 5$ anos e $i_D = 0,027$ (2,7%)**

Da equação (1), considerando  $i_r = 0,30$  (30%), do item 4.1.3.3, tem-se que:

$$V_r = V_{H_r} = R\$ 81.394,58$$

Utilizando-se as equações (2) e (3), obtém-se o custo de capital a valor presente para o caminhão padrão ( $CC_{VP}$ ) e híbrido ( $CCH_{VP}$ ):

$$\begin{cases} CC_{VP} = R\$ 303.605,42 \\ CCH_{VP} = R\$ 342.105,42 \end{cases}$$

O acréscimo no custo de capital a valor presente é dado pela equação (4). Assim, tem-se que:

$$\Delta CC_{VP} = R\$ 38.500,00$$

As equações (5) e (6) fornecem o custo total de manutenção dos veículos padrão e híbrido, respectivamente:

$$\begin{cases} CM = R\$ 41.400,00 \\ CMH = R\$ 40.200,00 \end{cases}$$

Considerando-se o aumento anual do custo de manutenção, conforme explicitado no método, a redução total no custo de manutenção, a valor presente, para cada tipo de veículo, é dada pelas equações (12) e (13):

$$\begin{cases} CM_{VP} = R\$ 183.359,75 \\ CMH_{VP} = R\$ 178.044,98 \end{cases}$$

Dessa forma, a redução no custo de manutenção total, para o período de tempo  $T = 5$  anos, é dado pela aplicação da equação (14):

$$\Delta CM_{VP} = R\$ 5.314,78$$

Portanto, o valor do acréscimo real pela introdução do sistema HRB no veículo é fornecido pela equação (15):

$$\Delta CR_{VP} = R\$ 33.185,22$$

Das tabelas 21, 22 e 23, calcula-se a redução total no custo de operação, a valor presente, para cada uma das taxas de redução de consumo de combustível, pela equação (24). Os resultados estão expostos na tabela 30.

**Tabela 30: Redução total no custo de operação para o cenário A.1**

<b>REDUÇÃO TOTAL NO CUSTO DE OPERAÇÃO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$\Delta\text{CO}_{\text{TV}15\%}$	$\Delta\text{CO}_{\text{TV}25\%}$	$\Delta\text{CO}_{\text{TV}30\%}$
0	0	0	0
500	4.133,90	6.338,65	7.313,82
1.000	8.267,80	12.677,29	14.627,65
1.500	12.401,70	19.015,94	21.941,47
2.000	16.535,60	25.354,59	29.255,29
2.500	20.669,50	31.693,23	36.569,11
3.000	24.803,40	38.031,88	43.882,94
3.500	28.937,30	44.370,52	51.196,76
4.000	33.071,20	50.709,17	58.510,58
4.500	37.205,10	57.047,82	65.824,40
5.000	41.339,00	63.386,46	73.138,23

Fonte: Elaboração do autor

Assim, o retorno financeiro por veículo a valor presente, obtido aplicando-se a equação (26), é apresentado na tabela 31.

**Tabela 31: Retorno financeiro para o cenário A.1**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{\text{PB}15\%}$	$R_{\text{PB}25\%}$	$R_{\text{PB}30\%}$
0	-33.185,22	-33.185,22	-33.185,22
500	-29.051,32	-26.846,58	-25.871,40
1.000	-24.917,42	-20.507,93	-18.557,58
1.500	-20.783,53	-14.169,29	-11.243,76
2.000	-16.649,63	-7.830,64	-3.929,93
2.500	-12.515,73	-1.491,99	3.383,89
3.000	-8.381,83	4.846,65	10.697,71
3.500	-4.247,93	11.185,30	18.011,53
4.000	-114,03	17.523,95	25.325,36
4.500	4.019,87	23.862,59	32.639,18
5.000	8.153,77	30.201,24	39.953,00

Fonte: Elaboração do autor

Os valores assinalados em vermelho representam um acréscimo no custo, e não um retorno financeiro. Por esse motivo é que assumem um valor negativo.

Considerando a possibilidade de se vender créditos de carbono, dada a redução na emissão de CO<sub>2</sub>, e aplicando-se a equação (30), encontra-se o lucro financeiro total, a valor presente, obtido com essa venda. Os resultados estão expostos nas tabelas 32 e 33, para os valores de R\$ 8,46 e R\$ 51,90 do crédito de carbono, respectivamente.

**Tabela 32: Lucro total da venda de crédito de carbono ( $Z_C = R\$ 8,46$ )**

<b>LUCRO TOTAL, A VALOR PRESENTE, DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO (<math>Z_C = R\\$ 8,46</math>)</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$LT_{VP_{C15\%}}$	$LT_{VP_{C25\%}}$	$LT_{VP_{C30\%}}$
0	0	0	0
500	48,02	73,63	84,95
1.000	96,04	147,25	169,91
1.500	144,05	220,88	254,86
2.000	192,07	294,51	339,82
2.500	240,09	368,14	424,77
3.000	288,11	441,76	509,73
3.500	336,12	515,39	594,68
4.000	384,14	589,02	679,63
4.500	432,16	662,64	764,59
5.000	480,18	736,27	849,54

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 33: Lucro total da venda de crédito de carbono ( $Z_C = R\$ 51,90$ )**

<b>LUCRO TOTAL, A VALOR PRESENTE, DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO (<math>Z_C = R\\$ 51,90</math>)</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$LT_{VP_{C15\%}}$	$LT_{VP_{C25\%}}$	$LT_{VP_{C30\%}}$
0	0	0	0
500	294,58	451,68	521,17
1.000	589,15	903,37	1.042,35
1.500	883,73	1.355,05	1.563,52
2.000	1.178,31	1.806,74	2.084,70
2.500	1.472,88	2.258,42	2.605,87
3.000	1.767,46	2.710,10	3.127,04
3.500	2.062,04	3.161,79	3.648,22
4.000	2.356,61	3.613,47	4.169,39
4.500	2.651,19	4.065,16	4.690,56
5.000	2.945,76	4.516,84	5.211,74

Fonte: Elaboração do autor

Acrescentando-se os valores obtidos com a venda de crédito de carbono ao resultado apresentado na tabela 31, verifica-se um aumento no retorno financeiro, como pode ser observado nas tabelas 34 e 35, para valores do crédito de carbono de R\$ 8,46 e R\$ 51,90, respectivamente.

**Tabela 34: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 8,46</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-33.185,22	-33.185,22	-33.185,22
500	-29.003,31	-26.772,95	-25.786,45
1.000	-24.821,39	-20.360,68	-18.387,67
1.500	-20.639,47	-13.948,40	-10.988,89
2.000	-16.457,55	-7.536,13	-3.590,12
2.500	-12.275,64	-1.123,86	3.808,66
3.000	-8.093,72	5.288,42	11.207,44
3.500	-3.911,80	11.700,69	18.606,22
4.000	270,12	18.112,96	26.004,99
4.500	4.452,03	24.525,24	33.403,77
5.000	8.633,95	30.937,51	40.802,55

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 35: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 51,90</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-33.185,22	-33.185,22	-33.185,22
500	-28.756,75	-26.394,89	-25.350,23
1.000	-24.328,27	-19.604,56	-17.515,23
1.500	-19.899,80	-12.814,23	-9.680,23
2.000	-15.471,32	-6.023,90	-1.845,24
2.500	-11.042,84	766,43	5.989,76
3.000	-6.614,37	7.556,76	13.824,75
3.500	-2.185,89	14.347,09	21.659,75
4.000	2.242,59	21.137,42	29.494,75
4.500	6.671,06	27.927,75	37.329,74
5.000	11.099,54	34.718,08	45.164,74

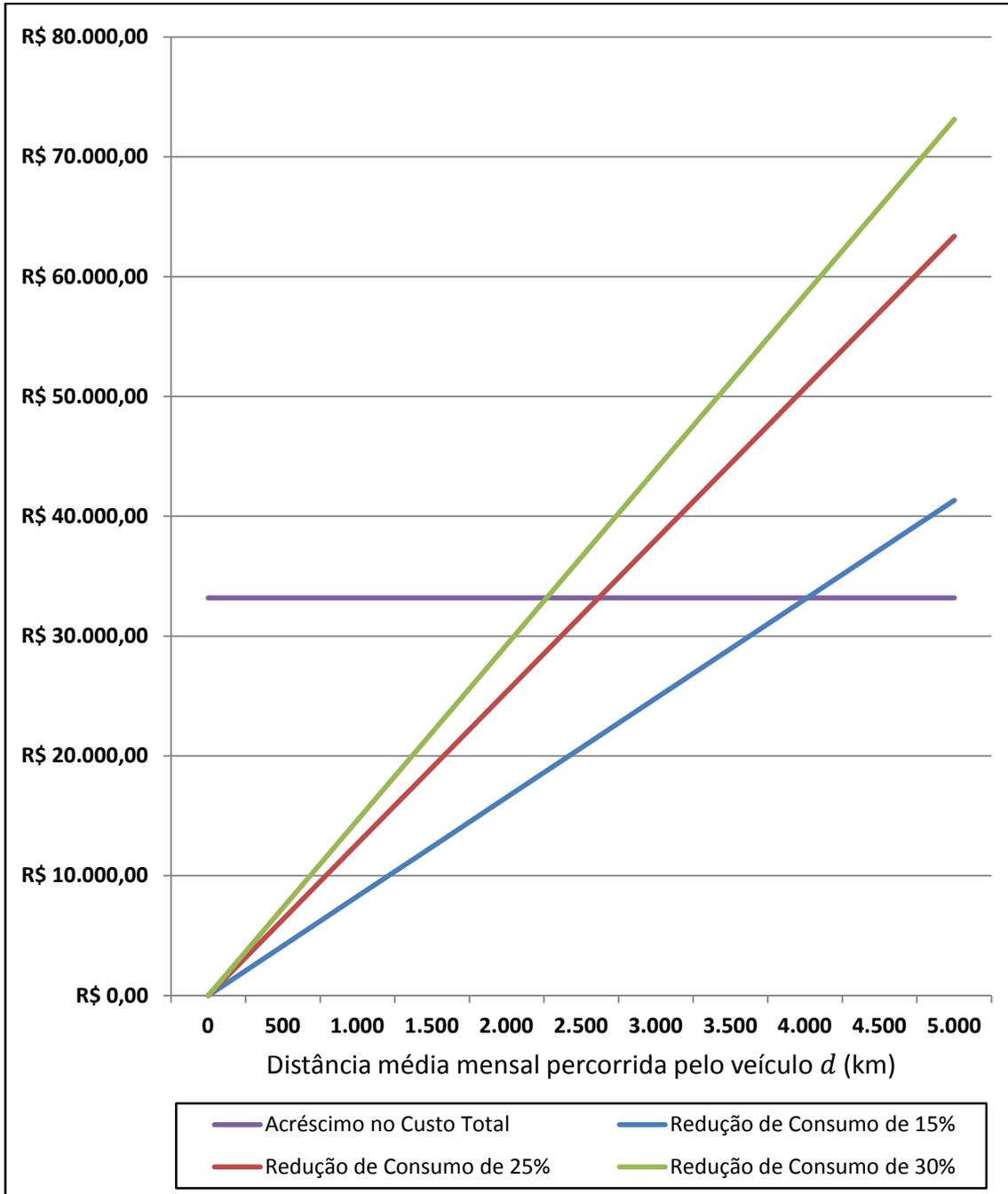
Fonte: Elaboração do autor

Os valores das distâncias, a partir das quais a introdução da tecnologia híbrida diesel-hidráulica em um veículo de coleta de resíduos é viável, podem ser encontradas por meio da relação (27). Assim, tem-se que:

$$\begin{cases} d_{\text{viável}15\%} = 4.013,79 \text{ km} \\ d_{\text{viável}25\%} = 2.617,69 \text{ km} \\ d_{\text{viável}30\%} = 2.268,66 \text{ km} \end{cases}$$

Com base na tabela 30, constrói-se o gráfico da figura 34, em que as linhas de cores verde, vermelha e azul representam a redução total no custo de operação do veículo, de

acordo com a taxa de redução no consumo de combustível considerada, e a reta paralela ao eixo das abscissas, na cor roxa, corresponde ao acréscimo no custo total devido à aquisição do sistema híbrido.



**Figura 34: Gráfico de análise da viabilidade financeira para o cenário A.1**  
Fonte: Elaboração do autor

No gráfico, os pontos onde as linhas de redução total no custo de operação cruzam a reta de acréscimo no custo total determinam os valores encontrados anteriormente para as distâncias a partir das quais a introdução do sistema híbrido no veículo é viável.

Considerando a venda de crédito de carbono, os valores das distâncias a partir das quais o sistema híbrido se torna viável podem ser encontradas por meio da relação (32). Para o valor do crédito igual R\$ 8,46, tem-se que:

$$\begin{cases} d_{\text{viável}C_{15\%}} = 3.967,70 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{25\%}} = 2.587,63 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{30\%}} = 2.242,62 \text{ km} \end{cases}$$

O gráfico da figura 35 foi construído nos moldes do gráfico da figura 34, porém, considerando-se a venda de crédito de carbono a R\$ 8,46 por tonelada de carbono.

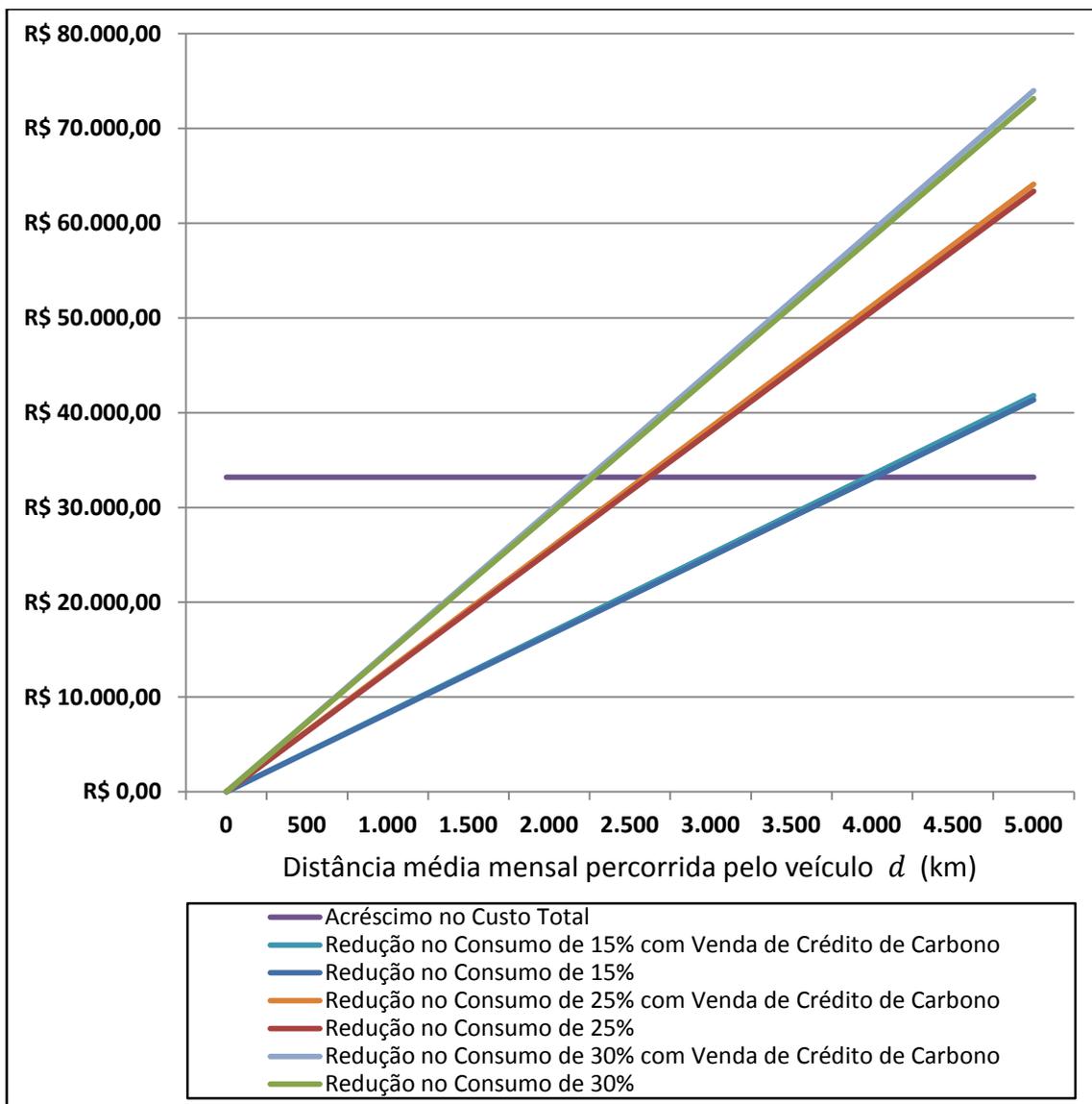


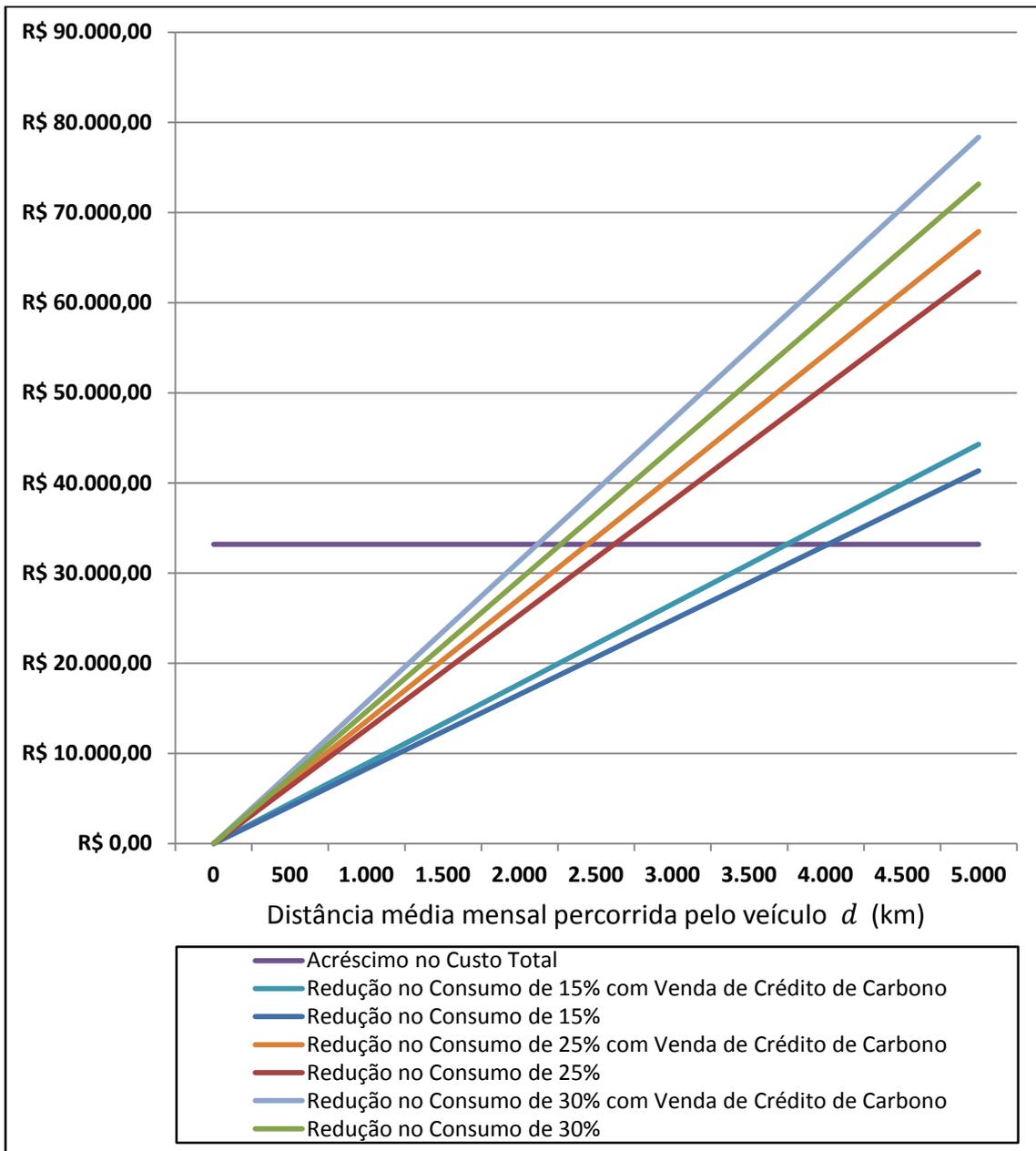
Figura 35: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46

Fonte: Elaboração do autor

Tomando-se o valor de R\$ 51,90 para cada tonelada vendida de carbono, obtém-se:

$$\begin{cases} d_{\text{viável}C_{15\%}} = 3.746,80 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{25\%}} = 2.443,56 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{30\%}} = 2.117,76 \text{ km} \end{cases}$$

Com esse valor do crédito de carbono, constrói-se o gráfico apresentado na figura 36:



**Figura 36: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

Fonte: Elaboração do autor

Da mesma forma que no gráfico da figura 34, nos gráficos das figuras 35 e 36, os pontos onde as linhas de redução total no custo de operação cruzam a reta de acréscimo no custo total determinam os valores encontrados anteriormente para as distâncias, com ou sem a venda de crédito de carbono, a partir das quais o sistema híbrido é viável.

#### 4.1.4.1.2. Cenário A.2: $T = 5$ anos e $i_D = 0,056$ (5,6%)

Este cenário difere do A.1 somente com relação à taxa de aumento anual do preço do diesel. Essa alteração impacta os custos de operação e, por conseguinte, o retorno financeiro. Os valores residuais, os custos de capital, de manutenção e de acréscimo real pela introdução do sistema HRB no veículo, serão os mesmos encontrados para o cenário A.1. Assim, a tabela 36 condensa os resultados encontrados e que servirão para o cálculo das demais variáveis do método aplicado.

**Tabela 36: Resultados calculados pela aplicação do método no cenário A.1**

VARIÁVEL	VALOR
<b>VEÍCULO</b>	
$V_r$	R\$ 81.394,58
$VH_r$	R\$ 81.394,58
$CC_{VP}$	R\$ 303.645,42
$CCH_{VP}$	R\$ 342.105,42
$\Delta CC_{VP}$	R\$ 38.500,00
$\Delta CR_{VP}$	R\$ 33.185,22
<b>MANUTENÇÃO</b>	
CM	R\$ 41.400,00
CMH	R\$ 40.200,00
$CM_{VP}$	R\$ 183.359,75
$CMH_{VP}$	R\$ 178.044,98
$\Delta CM_{VP}$	R\$ 5.314,78

Fonte: Elaboração do autor

Das tabelas 24, 25 e 26, calcula-se a redução total no custo de operação, a valor presente, para cada uma das taxas de redução de consumo de combustível, pela equação (24). Os resultados estão expostos na tabela 37.

**Tabela 37: Redução total no custo de operação para o cenário A.2**

<b>REDUÇÃO TOTAL NO CUSTO DE OPERAÇÃO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$\Delta CO_{T_{VP_{15\%}}}$	$\Delta CO_{T_{VP_{25\%}}}$	$\Delta CO_{T_{VP_{30\%}}}$
0	0	0	0
500	4.363,50	6.690,71	7.720,05
1.000	8.727,01	13.381,41	15.440,09
1.500	13.090,51	20.072,12	23.160,14
2.000	17.454,02	26.762,83	30.880,19
2.500	21.817,52	33.453,54	38.600,24
3.000	26.181,03	40.144,24	46.320,28
3.500	30.544,53	46.834,95	54.040,33
4.000	34.908,04	53.525,66	61.760,38
4.500	39.271,54	60.216,37	69.480,42
5.000	43.635,05	66.907,07	77.200,47

Fonte: Elaboração do autor

Assim, o retorno financeiro por veículo a valor presente, obtido aplicando-se a equação (26), é apresentado na tabela 38.

**Tabela 38: Retorno financeiro para o cenário A.2**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-33.185,22	-33.185,22	-33.185,22
500	-28.821,72	-26.494,52	-25.465,18
1.000	-24.458,21	-19.803,81	-17.745,13
1.500	-20.094,71	-13.113,10	-10.025,08
2.000	-15.731,21	-6.422,39	-2.305,04
2.500	-11.367,70	268,31	5.415,01
3.000	-7.004,20	6.959,02	13.135,06
3.500	-2.640,69	13.649,73	20.855,11
4.000	1.722,81	20.340,44	28.575,15
4.500	6.086,32	27.031,14	36.295,20
5.000	10.449,82	33.721,85	44.015,25

Fonte: Elaboração do autor

É importante ressaltar que os valores assinalados em vermelho representam um acréscimo no custo, e não um retorno financeiro. Por esse motivo é que assumem um valor negativo.

As tabelas 39 e 40 apresentam os valores encontrados de retorno financeiro, considerando os mesmos resultados para o lucro com a venda de crédito de carbono das tabelas 32 e 33, pois a redução no consumo de combustível é a mesma em A.1 e A.2.

**Tabela 39: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO 8,46</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-33.185,22	-33.185,22	-33.185,22
500	-28.773,70	-26.420,89	-25.380,22
1.000	-24.362,18	-19.656,56	-17.575,22
1.500	-19.950,66	-12.892,22	-9.770,22
2.000	-15.539,13	-6.127,89	-1.965,22
2.500	-11.127,61	636,45	5.839,78
3.000	-6.716,09	7.400,78	13.644,78
3.500	-2.304,57	14.165,12	21.449,79
4.000	2.106,96	20.929,45	29.254,79
4.500	6.518,48	27.693,79	37.059,79
5.000	10.930,00	34.458,12	44.864,79

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 40: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

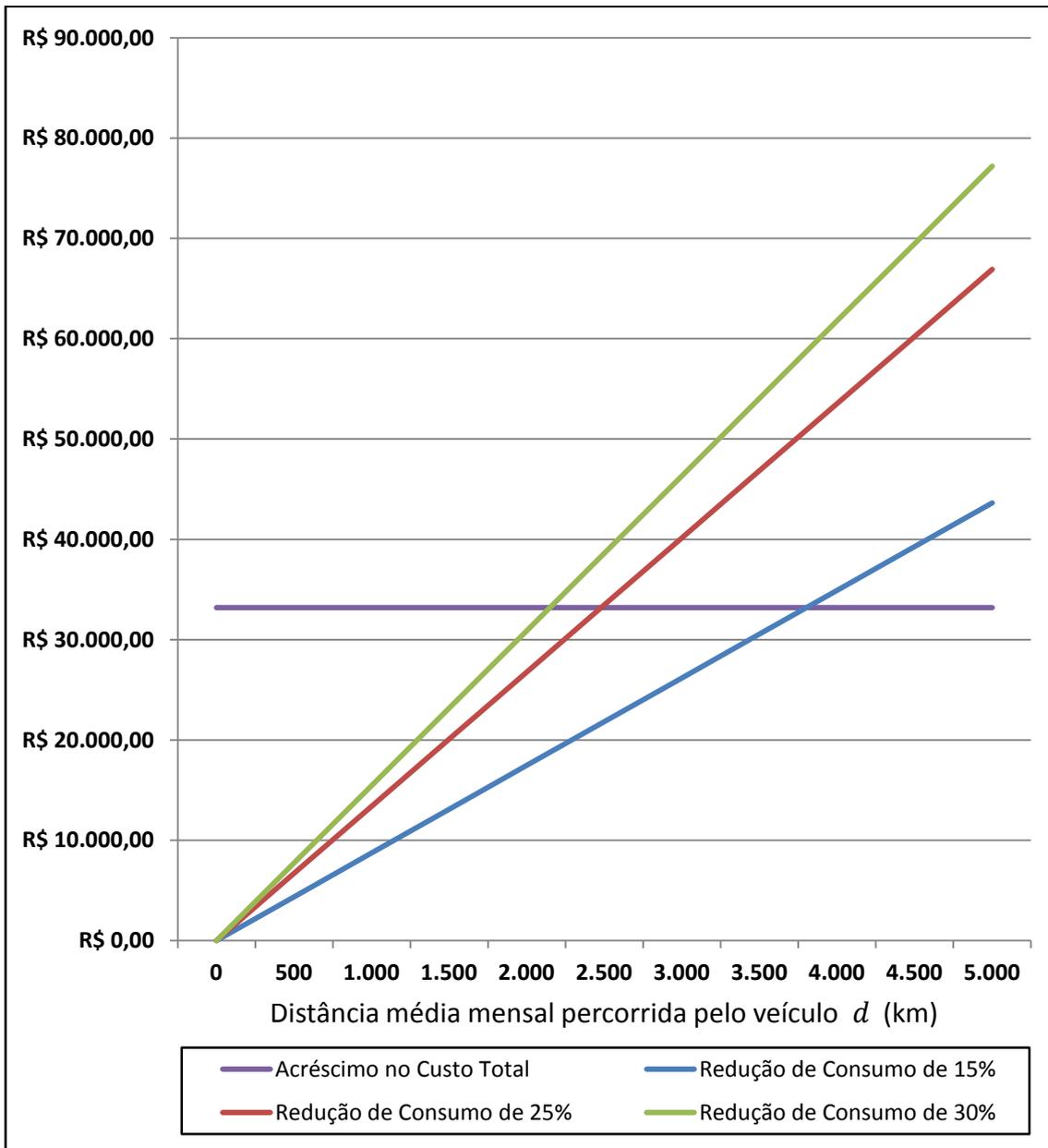
<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO 51,90</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-33.185,22	-33.185,22	-33.185,22
500	-28.527,14	-26.042,83	-24.944,00
1.000	-23.869,06	-18.900,44	-16.702,78
1.500	-19.210,98	-11.758,05	-8.461,56
2.000	-14.552,90	-4.615,66	-220,34
2.500	-9.894,82	2.526,73	8.020,88
3.000	-5.236,74	9.669,12	16.262,10
3.500	-578,65	16.811,52	24.503,32
4.000	4.079,43	23.953,91	32.744,54
4.500	8.737,51	31.096,30	40.985,76
5.000	13.395,59	38.238,69	49.226,98

Os valores das distâncias, a partir das quais a introdução da tecnologia híbrida diesel-hidráulica em um veículo de coleta de resíduos é viável, encontradas por meio da relação (27), valem:

$$\begin{cases} d_{\text{viável}15\%} = 3.802,59 \text{ km} \\ d_{\text{viável}25\%} = 2.479,95 \text{ km} \\ d_{\text{viável}30\%} = 2.149,29 \text{ km} \end{cases}$$

Essas distâncias são representadas no gráfico da figura 37 pelos pontos onde as retas, que indicam a redução total no custo de operação (curvas lineares de cores verde,

vermelha e azul), cruzam a linha de acréscimo no custo total devido à aquisição do sistema híbrido, ilustrada por uma reta paralela ao eixo das abscissas, na cor roxa.



**Figura 37: Gráfico de análise da viabilidade financeira para o cenário A.2**

Fonte: Elaboração do autor

Considerando a venda de crédito de carbono, os valores das distâncias a partir das quais o sistema híbrido se torna viável, baseando-se no valor do crédito igual a R\$ 8,46, são:

$$\begin{cases} d_{\text{viável}C_{15\%}} = 3.761,20 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{25\%}} = 2.452,96 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{30\%}} = 2.125,89 \text{ km} \end{cases}$$

O gráfico da figura 38 foi construído nos moldes do gráfico da figura 34, porém, considerando-se a venda de crédito de carbono a R\$ 8,46 por tonelada de carbono.

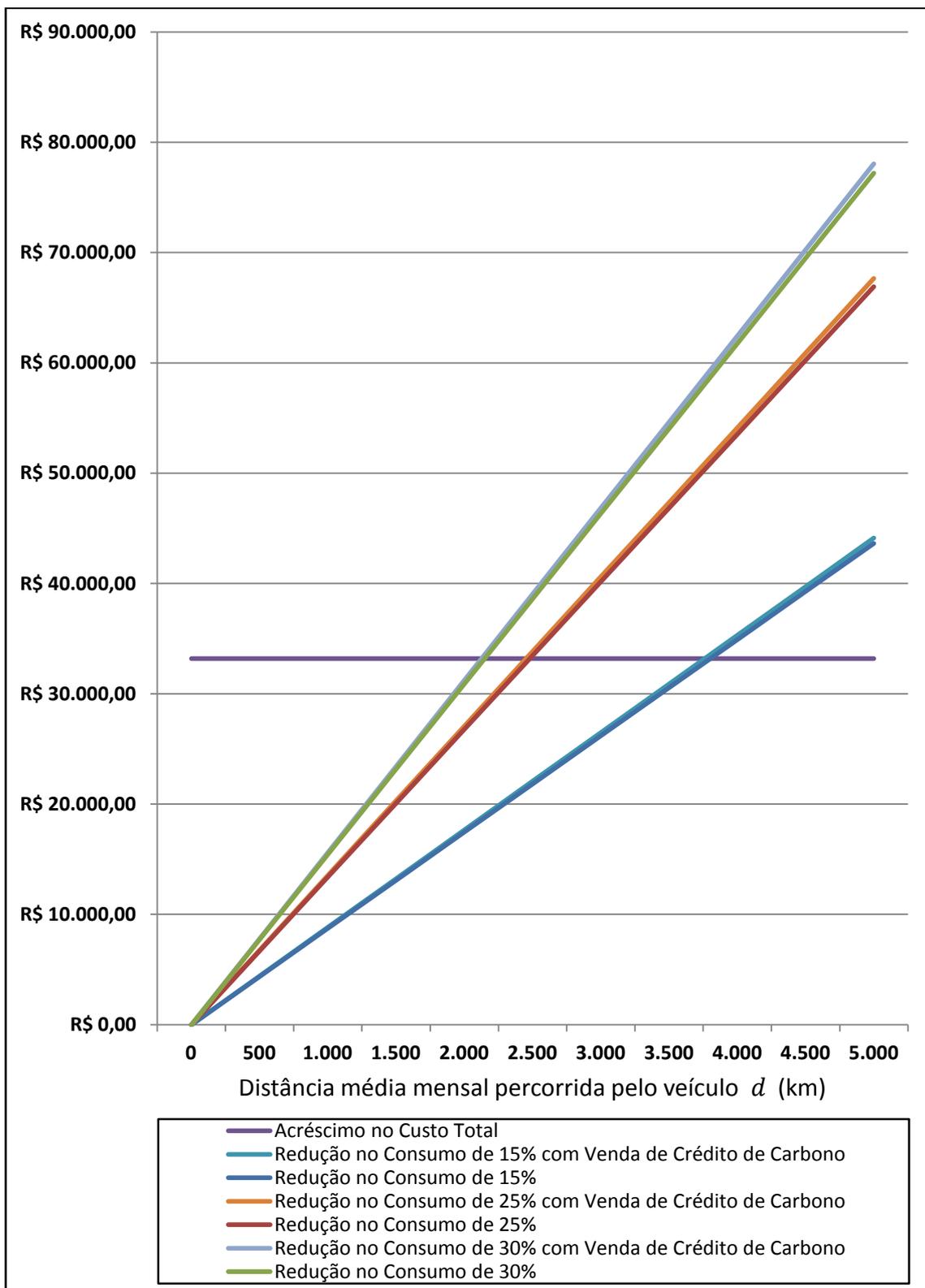


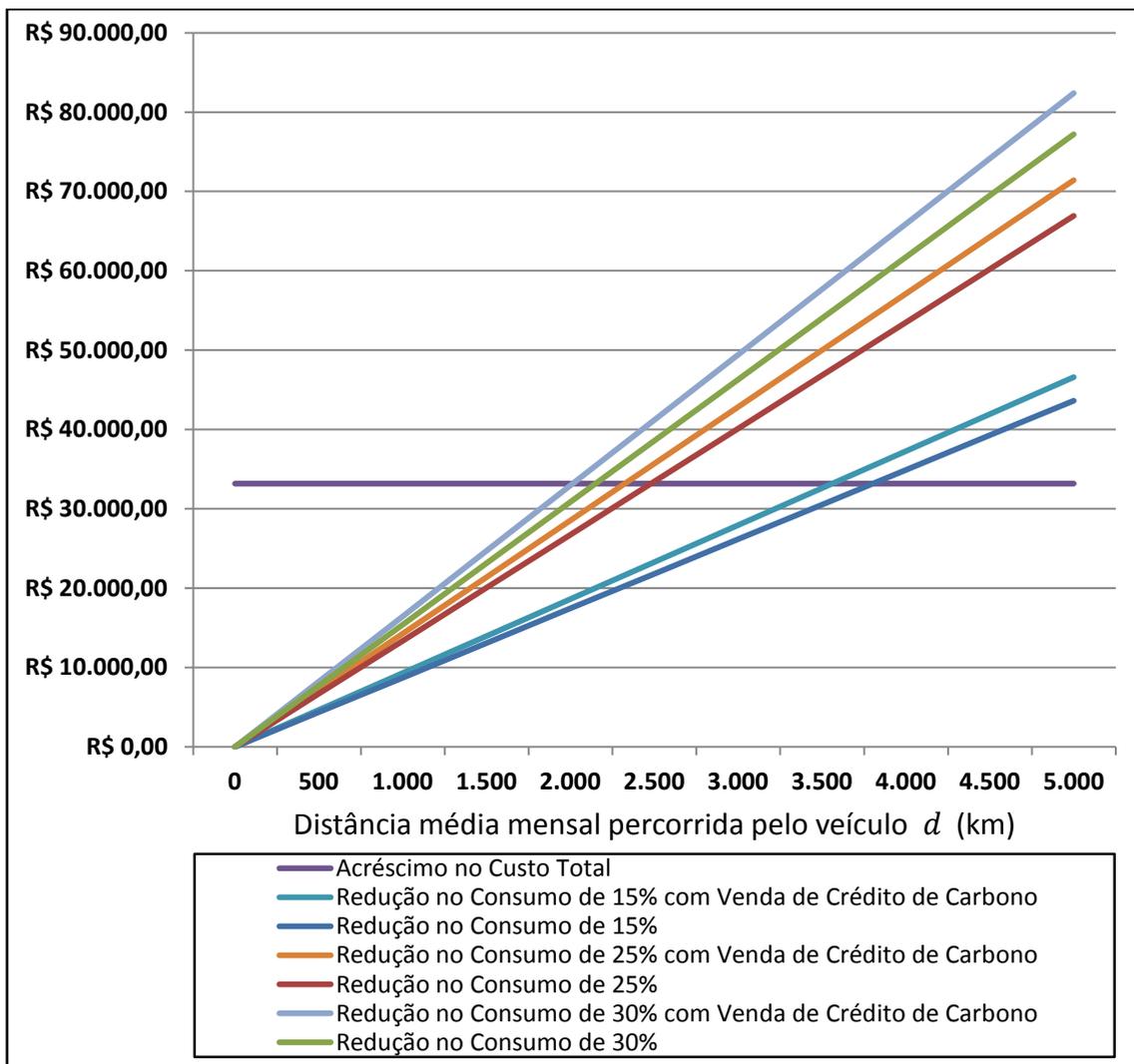
Figura 38: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46

Fonte: Elaboração do autor

Tomando-se o valor de R\$ 51,90 para cada tonelada vendida de carbono, obtém-se:

$$\begin{cases} d_{\text{viável}C_{15\%}} = 3.562,11 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{25\%}} = 2.323,12 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{30\%}} = 2.013,37 \text{ km} \end{cases}$$

Com esse valor do crédito de carbono, constrói-se o gráfico apresentado na figura 39:



**Figura 39: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda de crédito de carbono a R\$ 51,90**

Fonte: Elaboração do autor

Da mesma forma que no gráfico da figura 37, nos gráficos das figuras 38 e 39, os pontos onde as linhas de redução total no custo de operação cruzam a reta de acréscimo no custo total determinam os valores encontrados anteriormente para as distâncias, com ou sem a venda de crédito de carbono, a partir das quais o sistema híbrido é viável.

#### 4.1.4.1.3. Cenário B.1: T = 4 anos e $i_D = 0,027$ (2,7%)

Da equação (1), considerando  $i_r = 0,3093$  (30,93%), do item 4.1.3.3, tem-se que:

$$V_r = V_{H_r} = \text{R\$ } 90.001,85$$

Utilizando-se as equações (2) e (3), obtém-se o custo de capital a valor presente para o caminhão padrão ( $CC_{VP}$ ) e híbrido ( $CCH_{VP}$ ):

$$\begin{cases} CC_{VP} = \text{R\$ } 294.998,15 \\ CCH_{VP} = \text{R\$ } 333.498,15 \end{cases}$$

O acréscimo no custo de capital a valor presente é dado pela equação (4). Assim, tem-se que:

$$\Delta CC_{VP} = \text{R\$ } 38.500,00$$

As equações (5) e (6) fornecem o custo total de manutenção dos veículos padrão e híbrido, respectivamente:

$$\begin{cases} CM = \text{R\$ } 41.400,00 \\ CMH = \text{R\$ } 40.200,00 \end{cases}$$

Considerando-se o aumento anual do custo de manutenção, conforme explicitado no método, a redução total no custo de manutenção, a valor presente, para cada tipo de veículo, é dada pelas equações (12) e (13):

$$\begin{cases} CM_{VP} = \text{R\$ } 148.567,78 \\ CMH_{VP} = \text{R\$ } 144.261,47 \end{cases}$$

Dessa forma, a redução no custo de manutenção total, para o período de tempo  $T = 4$  anos, é dado pela aplicação da equação (14):

$$\Delta CM_{VP} = \text{R\$ } 4.306,31$$

Portanto, o valor do acréscimo real pela introdução do sistema HRB no veículo é fornecido pela equação (15):

$$\Delta CR_{VP} = R\$ 34.193,69$$

Considerando as colunas Ano 1 à Ano 4 das tabelas 21, 22 e 23, calcula-se a redução total no custo de operação, a valor presente, para cada uma das taxas de redução de consumo de combustível, pela equação (24). Os resultados estão expostos na tabela 41.

**Tabela 41: Redução total no custo de operação para o cenário B.1**

<b>REDUÇÃO TOTAL NO CUSTO DE OPERAÇÃO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$\Delta CO_{T_{VP15\%}}$	$\Delta CO_{T_{VP25\%}}$	$\Delta CO_{T_{VP30\%}}$
0	0	0	0
500	3.377,21	5.178,38	5.975,06
1.000	6.754,41	10.356,76	11.950,11
1.500	10.131,62	15.535,15	17.925,17
2.000	13.508,82	20.713,53	23.900,22
2.500	16.886,03	25.891,91	29.875,28
3.000	20.263,23	31.070,29	35.850,34
3.500	23.640,44	36.248,67	41.825,39
4.000	27.017,64	41.427,06	47.800,45
4.500	30.394,85	46.605,44	53.775,50
5.000	33.772,06	51.783,82	59.750,56

Fonte: Elaboração do autor

Assim, o retorno financeiro por veículo a valor presente, obtido aplicando-se a equação (26), é apresentado na tabela 42.

**Tabela 42: Retorno financeiro para o cenário B.1**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-34.193,69	-34.193,69	-34.193,69
500	-30.816,48	-29.015,31	-28.218,63
1.000	-27.439,28	-23.836,92	-22.243,58
1.500	-24.062,07	-18.658,54	-16.268,52
2.000	-20.684,86	-13.480,16	-10.293,46
2.500	-17.307,66	-8.301,78	-4.318,41
3.000	-13.930,45	-3.123,40	1.656,65
3.500	-10.553,25	2.054,99	7.631,71
4.000	-7.176,04	7.233,37	13.606,76
4.500	-3.798,84	12.411,75	19.581,82
5.000	-421,63	17.590,13	25.556,87

Fonte: Elaboração do autor

Considerando a possibilidade de se vender créditos de carbono, dada a redução na emissão de CO<sub>2</sub>, e aplicando-se a equação (30), encontra-se o lucro financeiro total, a valor presente, obtido com essa venda. Os resultados estão expostos nas tabelas 43 e 44, para os valores de R\$ 8,46 e R\$ 51,90 do crédito de carbono, respectivamente.

**Tabela 43: Lucro total da venda de crédito de carbono ( $Z_c = R\$ 8,46$ )**

<b>LUCRO TOTAL, A VALOR PRESENTE, DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO (<math>Z_c = R\\$ 8,46</math>)</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$LT_{VP_{C_{15\%}}}$	$LT_{VP_{C_{25\%}}}$	$LT_{VP_{C_{30\%}}}$
0	0	0	0
500	39,71	60,89	70,26
1.000	79,42	121,78	140,51
1.500	119,13	182,66	210,77
2.000	158,84	243,55	281,02
2.500	198,55	304,44	351,28
3.000	238,26	365,33	421,53
3.500	277,97	426,21	491,79
4.000	317,68	487,10	562,04
4.500	357,38	547,99	632,30
5.000	397,09	608,88	702,55

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 44: Lucro total da venda de crédito de carbono ( $Z_c = R\$ 51,90$ )**

<b>LUCRO TOTAL, A VALOR PRESENTE, DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO (<math>Z_c = R\\$ 51,90</math>)</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$LT_{VP_{C15\%}}$	$LT_{VP_{C25\%}}$	$LT_{VP_{C30\%}}$
0	0	0	0
500	243,61	373,53	431,00
1.000	487,21	747,06	861,99
1.500	730,82	1.120,59	1.292,99
2.000	974,43	1.494,12	1.723,99
2.500	1.218,04	1.867,66	2.154,99
3.000	1.461,64	2.241,19	2.585,98
3.500	1.705,25	2.614,72	3.016,98
4.000	1.948,86	2.988,25	3.447,98
4.500	2.192,47	3.361,78	3.878,98
5.000	2.436,07	3.735,31	4.309,97

Fonte: Elaboração do autor

Acrescentando-se os valores obtidos com a venda de crédito de carbono ao resultado apresentado na tabela 42, verifica-se um aumento no retorno financeiro, como pode ser observado nas tabelas 45 e 46 para valores do crédito de carbono de R\$ 8,46 e R\$ 51,90, respectivamente.

**Tabela 45: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 8,46</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB15\%}$	$R_{PB25\%}$	$R_{PB30\%}$
0	-34.193,69	-34.193,69	-34.193,69
500	-30.776,77	-28.954,42	-28.148,38
1.000	-27.359,86	-23.715,15	-22.103,07
1.500	-23.942,94	-18.475,88	-16.057,75
2.000	-20.526,03	-13.236,61	-10.012,44
2.500	-17.109,11	-7.997,34	-3.967,13
3.000	-13.692,20	-2.758,07	2.078,18
3.500	-10.275,28	2.481,20	8.123,49
4.000	-6.858,37	7.720,47	14.168,80
4.500	-3.441,45	12.959,74	20.214,11
5.000	-24,54	18.199,01	26.259,42

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 46: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

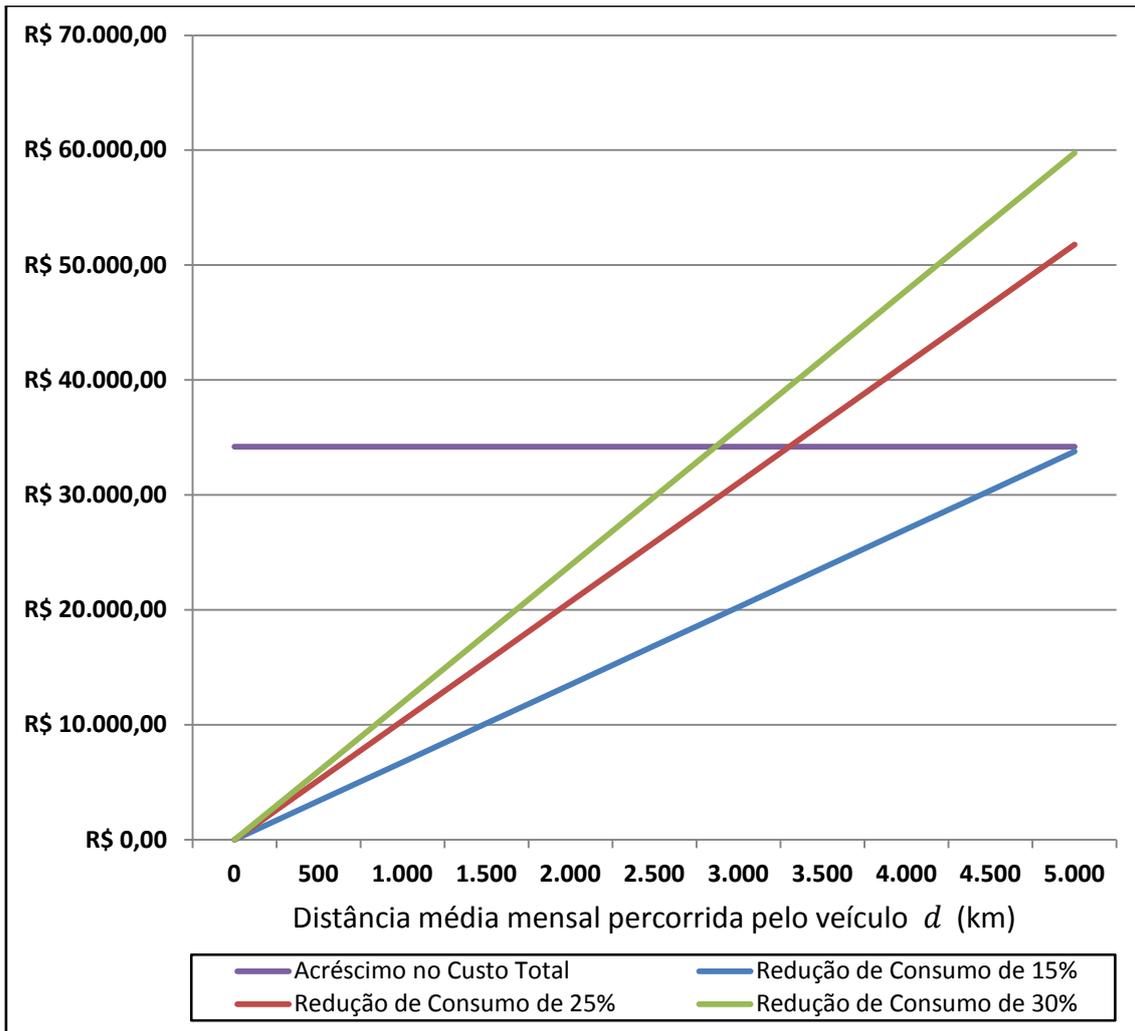
<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 51,90</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-34.193,69	-34.193,69	-34.193,69
500	-30.572,87	-28.641,77	-27.787,63
1.000	-26.952,06	-23.089,86	-21.381,58
1.500	-23.331,25	-17.537,95	-14.975,53
2.000	-19.710,44	-11.986,04	-8.569,47
2.500	-16.089,62	-6.434,12	-2.163,42
3.000	-12.468,81	-882,21	4.242,63
3.500	-8.848,00	4.669,70	10.648,69
4.000	-5.227,18	10.221,62	17.054,74
4.500	-1.606,37	15.773,53	23.460,79
5.000	2.014,44	21.325,44	29.866,85

Fonte: Elaboração do autor

Os valores das distâncias, a partir das quais a introdução da tecnologia híbrida diesel-hidráulica em um veículo de coleta de resíduos é viável, são:

$$\left\{ \begin{array}{l} d_{\text{viável}15\%} = 5.062,42 \text{ km} \\ d_{\text{viável}25\%} = 3.301,58 \text{ km} \\ d_{\text{viável}30\%} = 2.861,37 \text{ km} \end{array} \right.$$

Com base na tabela 41, considerando-se o acréscimo no custo total devido à aquisição do sistema híbrido, e procedendo-se da mesma maneira como foi feito para os cenários anteriores, constrói-se o gráfico da figura 40.



**Figura 40: Gráfico de análise da viabilidade financeira para o cenário B.1**

Fonte: Elaboração do autor

No gráfico, conforme visto nos cenários anteriores, os pontos onde as linhas de redução total no custo de operação cruzam a reta de acréscimo no custo total determinam os valores encontrados anteriormente para as distâncias a partir das quais a introdução do sistema híbrido no veículo é viável. O não cruzamento indica que não há uma distância mínima em que o sistema é viável no intervalo de distâncias considerado.

Considerando a venda de crédito de carbono, os valores das distâncias a partir das quais o sistema híbrido se torna viável podem ser encontradas por meio da relação (32). Para o valor do crédito igual R\$ 8,46, tem-se que:

$$\begin{cases} d_{\text{viável}C_{15\%}} = 5.003,59 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{25\%}} = 3.263,21 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{30\%}} = 2.828,12 \text{ km} \end{cases}$$

O gráfico da figura 41 foi construído nos moldes do gráfico da figura 40, porém, considerando-se a venda de crédito de carbono a R\$ 8,46 por tonelada de carbono.

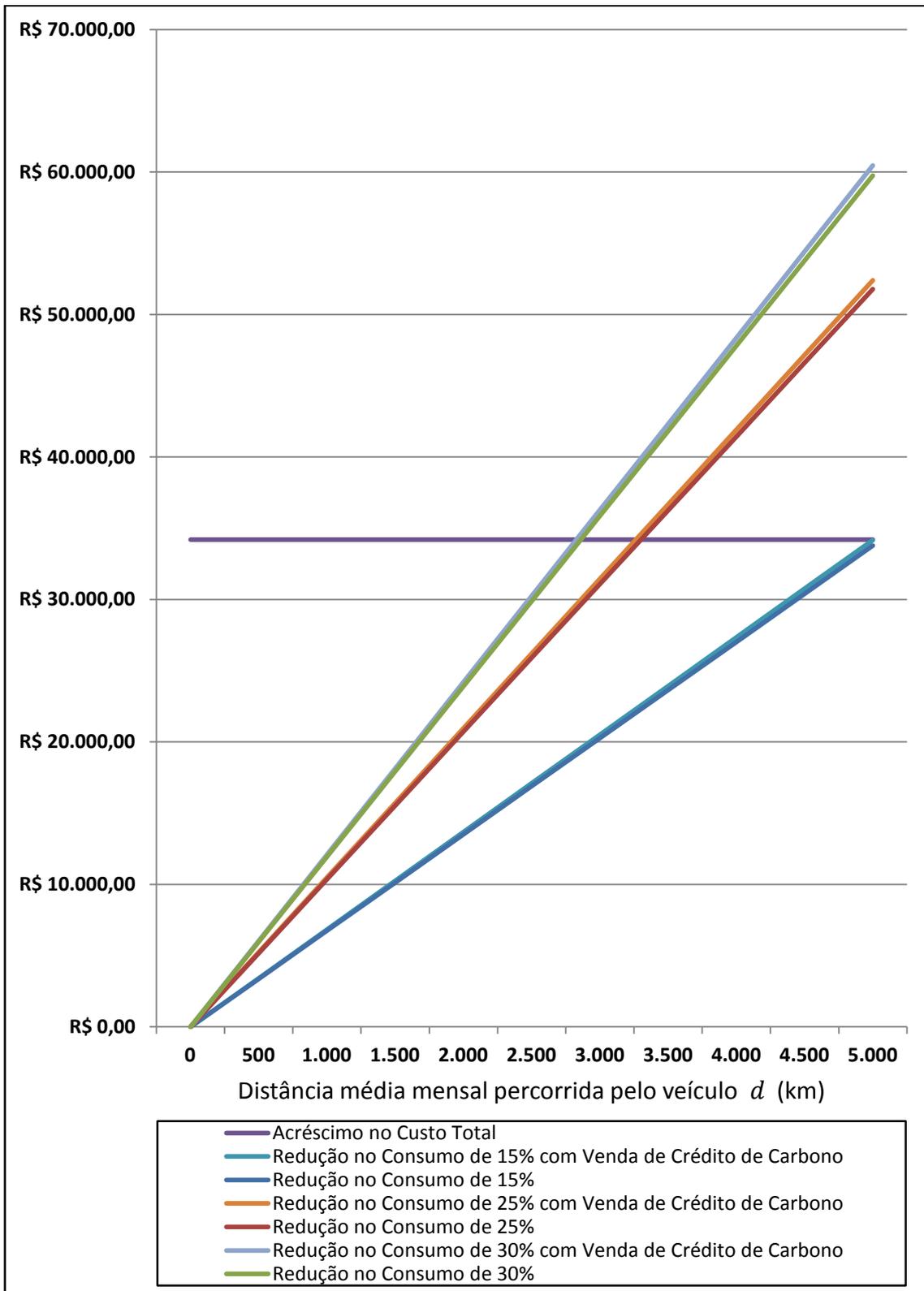


Figura 41: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46  
 Fonte: Elaboração do autor

Tomando-se o valor de R\$ 51,90 para cada tonelada vendida de carbono, obtém-se:

$$\begin{cases} d_{\text{viável}C_{15\%}} = 4.721,82 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{25\%}} = 3.079,45 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{30\%}} = 2.668,86 \text{ km} \end{cases}$$

Com esse valor do crédito de carbono, constrói-se o gráfico apresentado na figura 42:

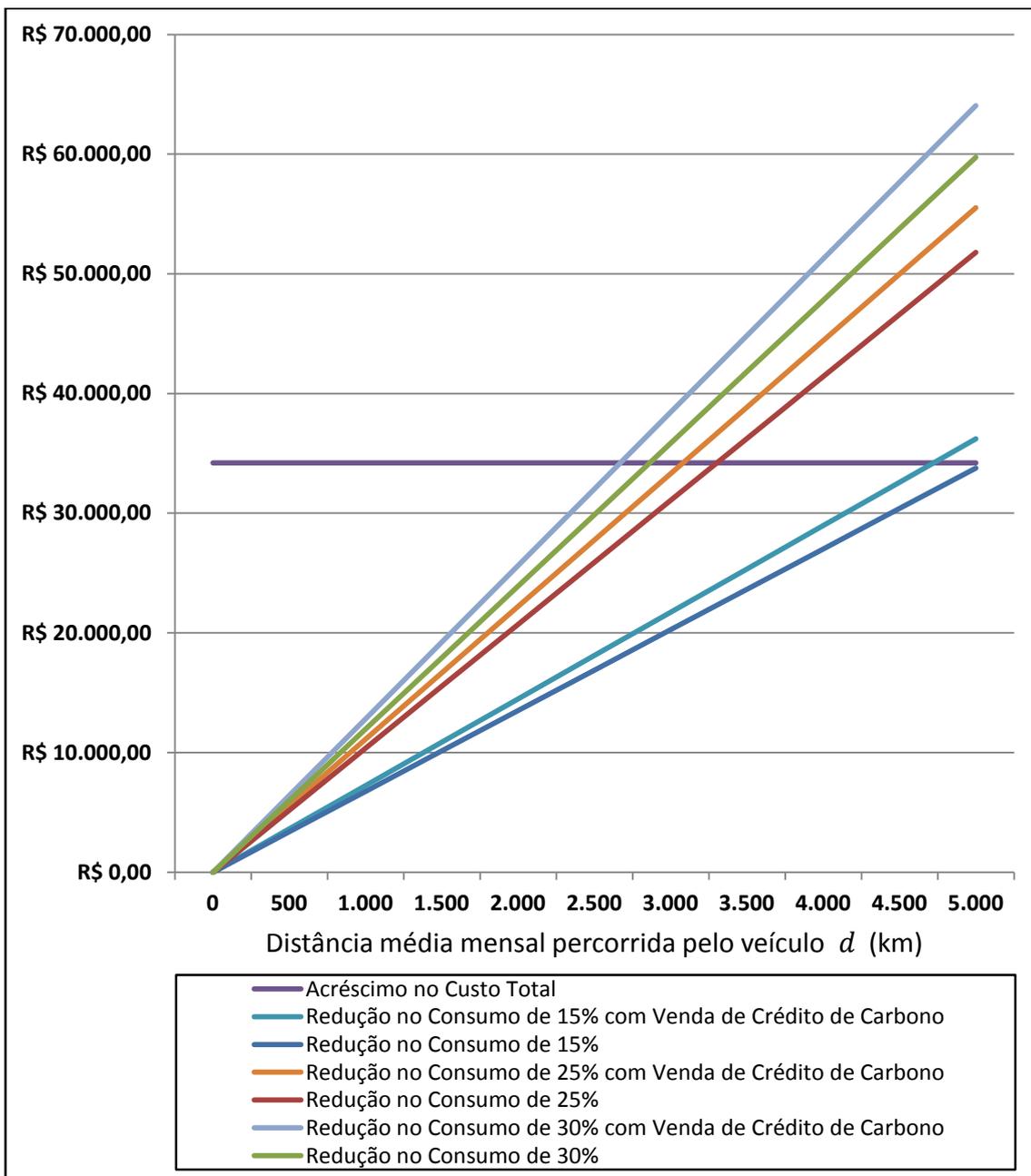


Figura 42: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90

Fonte: Elaboração do autor

Da mesma forma que no gráfico da figura 40, nos gráficos das figuras 41 e 42, os pontos onde as linhas de redução total no custo de operação cruzam a reta de acréscimo no custo total determinam os valores encontrados anteriormente para as distâncias, com ou sem a venda de crédito de carbono, a partir das quais o sistema híbrido é viável. O não cruzamento indica que não há uma distância mínima em que o sistema é viável no intervalo de distâncias considerado.

#### 4.1.4.1.4. Cenário B.2: $T = 4$ anos e $i_D = 0,056$ (5,6%)

Este cenário difere do B.1 somente com relação à taxa de aumento anual do preço do diesel. Os valores residuais, os custos de capital, de manutenção e de acréscimo real pela introdução do sistema HRB no veículo, serão os mesmos encontrados para o cenário B.1. Assim, a tabela 47 condensa os resultados encontrados e que servirão para o cálculo das demais variáveis do método aplicado.

**Tabela 47: Resultados calculados pela aplicação do método no cenário B.1**

VARIÁVEL	VALOR
<b>VEÍCULO</b>	
$V_r$	R\$ 90.001,85
$VH_r$	R\$ 90.001,85
$CC_{VP}$	R\$ 294.998,15
$CCH_{VP}$	R\$ 333.498,15
$\Delta CC_{VP}$	R\$ 38.500,00
$\Delta CR_{VP}$	R\$ 34.193,69
<b>MANUTENÇÃO</b>	
CM	R\$ 41.400,00
CMH	R\$ 40.200,00
$CM_{VP}$	R\$ 148.567,78
$CMH_{VP}$	R\$ 144.261,47
$\Delta CM_{VP}$	R\$ 4.306,31

Fonte: Elaboração do autor

Considerando as colunas Ano 1 à Ano 4 das tabelas 24, 25 e 26, calcula-se a redução total no custo de operação, a valor presente, para cada uma das taxas de redução de consumo de combustível, pela equação (24). Os resultados estão expostos na tabela 48.

**Tabela 48: Redução total no custo de operação para o cenário B.2**

<b>REDUÇÃO TOTAL NO CUSTO DE OPERAÇÃO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$\Delta CO_{T_{VP_{15\%}}}$	$\Delta CO_{T_{VP_{25\%}}}$	$\Delta CO_{T_{VP_{30\%}}}$
0	0	0	0
500	3.517,65	5.393,73	6.223,54
1.000	7.035,31	10.787,47	12.447,08
1.500	10.552,96	16.181,20	18.670,62
2.000	14.070,61	21.574,94	24.894,16
2.500	17.588,27	26.968,67	31.117,70
3.000	21.105,92	32.362,41	37.341,24
3.500	24.623,57	37.756,14	43.564,78
4.000	28.141,22	43.149,88	49.788,32
4.500	31.658,88	48.543,61	56.011,86
5.000	35.176,53	53.937,35	62.235,40

Fonte: Elaboração do autor

Assim, o retorno financeiro por veículo a valor presente, obtido aplicando-se a equação (26), é apresentado na tabela 49.

**Tabela 49: Retorno financeiro para o cenário B.2**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-34.193,69	-34.193,69	-34.193,69
500	-30.676,03	-28.799,95	-27.970,15
1.000	-27.158,38	-23.406,22	-21.746,61
1.500	-23.640,73	-18.012,48	-15.523,07
2.000	-20.123,08	-12.618,75	-9.299,53
2.500	-16.605,42	-7.225,01	-3.075,99
3.000	-13.087,77	-1.831,28	3.147,55
3.500	-9.570,12	3.562,46	9.371,09
4.000	-6.052,46	8.956,19	15.594,63
4.500	-2.534,81	14.349,92	21.818,17
5.000	982,84	19.743,66	28.041,71

Fonte: Elaboração do autor

As tabelas 50 e 51 apresentam os valores encontrados de retorno financeiro, considerando os mesmos resultados para o lucro com a venda de crédito de carbono das tabelas 43 e 44, pois a redução no consumo de combustível é a mesma em B.1 e B.2.

**Tabela 50: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO 8,46</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-34.193,69	-34.193,69	-34.193,69
500	-30.636,33	-28.739,07	-27.899,89
1.000	-27.078,96	-23.284,44	-21.606,10
1.500	-23.521,60	-17.829,82	-15.312,30
2.000	-19.964,24	-12.375,20	-9.018,51
2.500	-16.406,88	-6.920,58	-2.724,71
3.000	-12.849,51	-1.465,95	3.569,08
3.500	-9.292,15	3.988,67	9.862,88
4.000	-5.734,79	9.443,29	16.156,67
4.500	-2.177,43	14.897,91	22.450,47
5.000	1.379,94	20.352,54	28.744,26

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 51: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

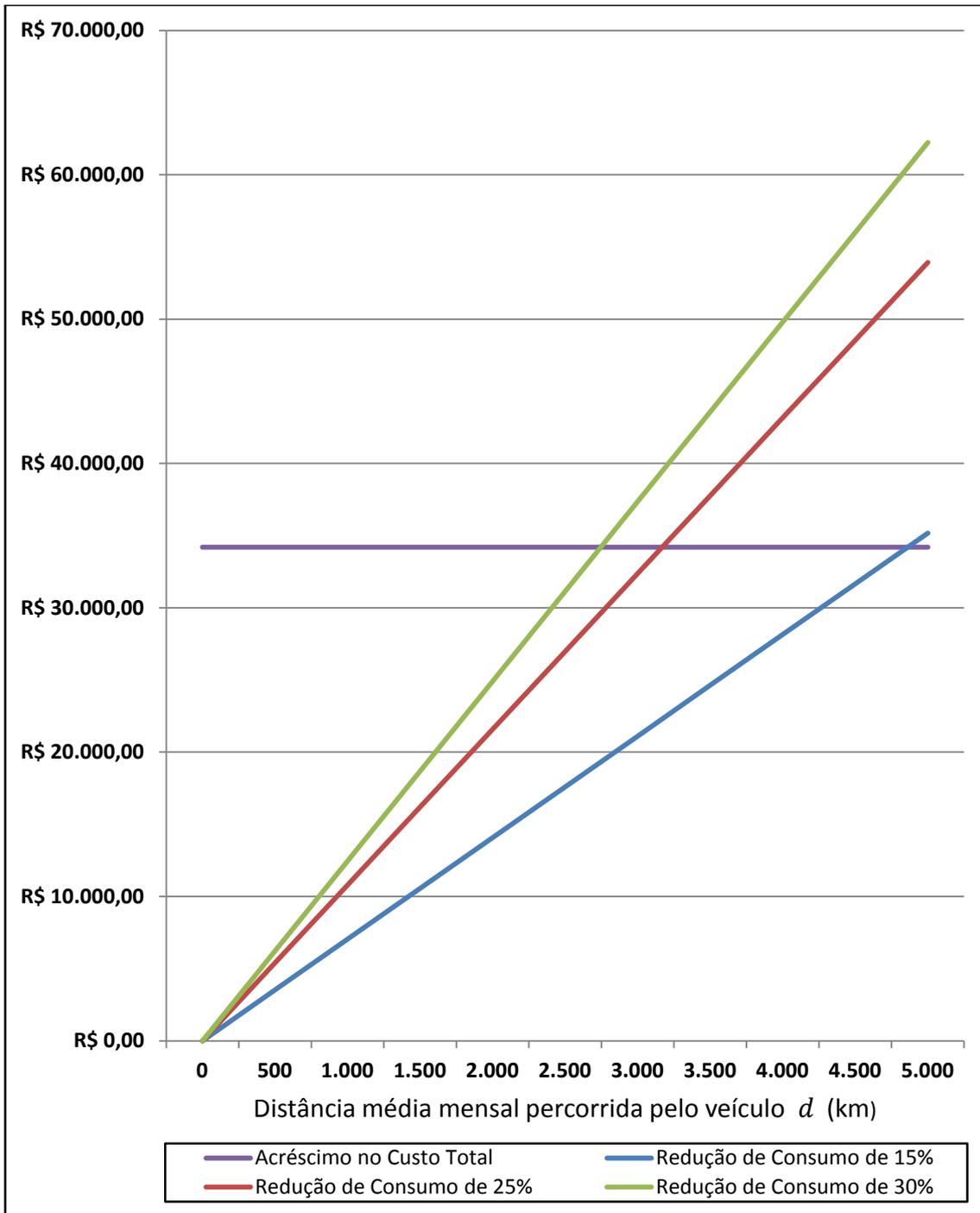
<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO 51,90</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-34.193,69	-34.193,69	-34.193,69
500	-30.432,43	-28.426,42	-27.539,15
1.000	-26.671,17	-22.659,16	-20.884,61
1.500	-22.909,91	-16.891,89	-14.230,08
2.000	-19.148,65	-11.124,62	-7.575,54
2.500	-15.387,39	-5.357,36	-921,00
3.000	-11.626,13	409,91	5.733,54
3.500	-7.864,87	6.177,17	12.388,07
4.000	-4.103,61	11.944,44	19.042,61
4.500	-342,34	17.711,70	25.697,15
5.000	3.418,92	23.478,97	32.351,69

Fonte: Elaboração do autor

Os valores das distâncias, a partir das quais a introdução da tecnologia híbrida diesel-hidráulica em um veículo de coleta de resíduos é viável, valem:

$$\begin{cases} d_{\text{viável}15\%} = 4.860,30 \text{ km} \\ d_{\text{viável}25\%} = 3.169,76 \text{ km} \\ d_{\text{viável}30\%} = 2.747,13 \text{ km} \end{cases}$$

Do mesmo modo como foi feito no cenário A.2, representam-se essas distâncias no gráfico da figura 43.



**Figura 43: Gráfico de análise da viabilidade financeira para o cenário B.2**

Fonte: Elaboração do autor

Considerando a venda de crédito de carbono, os valores das distâncias a partir das quais o sistema híbrido se torna viável, baseando-se no valor do crédito igual a R\$ 8,46, são:

$$\begin{cases} d_{\text{viável}C_{15\%}} = 4.806,04 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{25\%}} = 3.134,38 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{30\%}} = 2.716,46 \text{ km} \end{cases}$$

O gráfico da figura 44 foi construído nos moldes do gráfico da figura 43, porém, considerando-se a venda de crédito de carbono a R\$ 8,46 por tonelada de carbono.

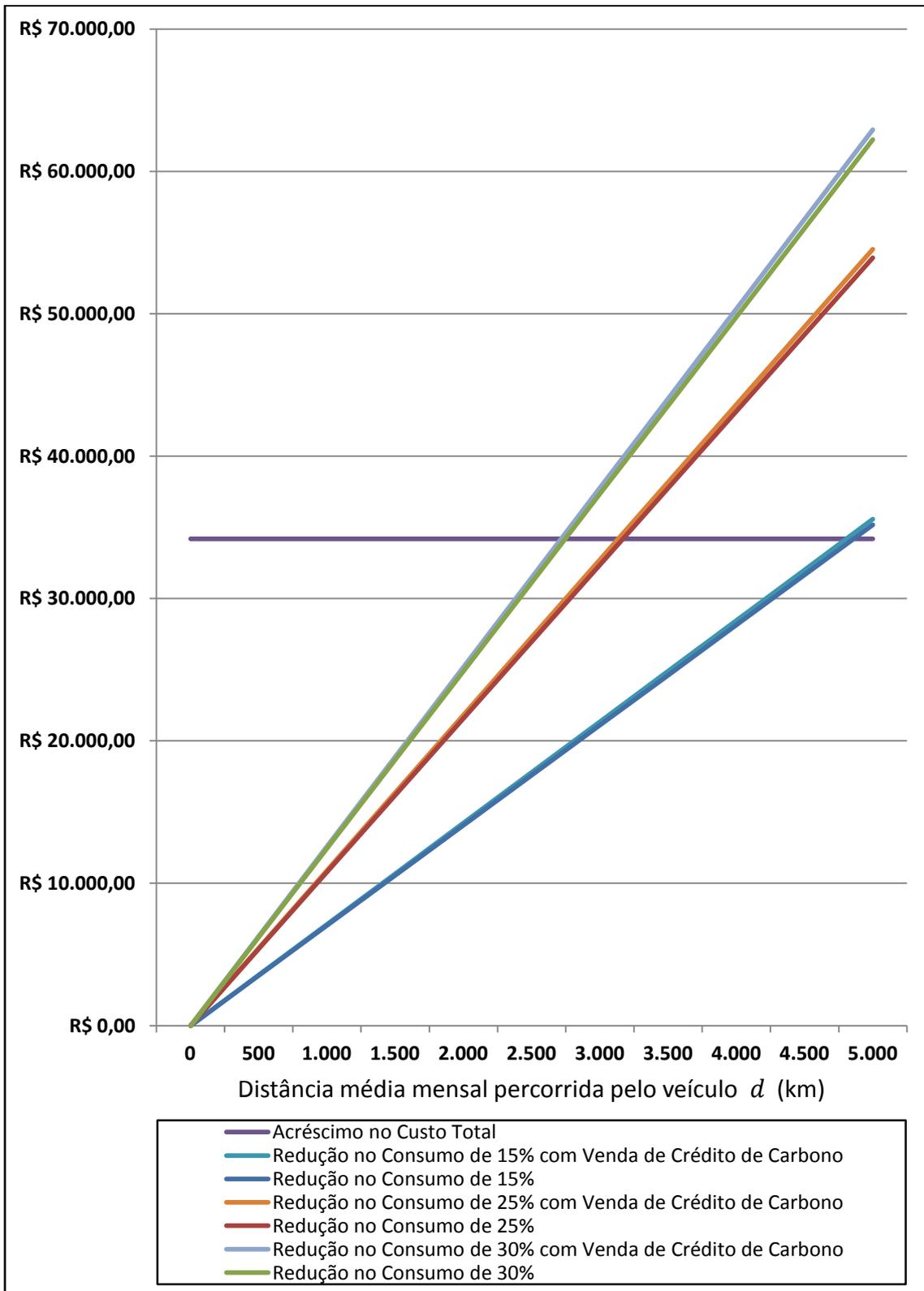
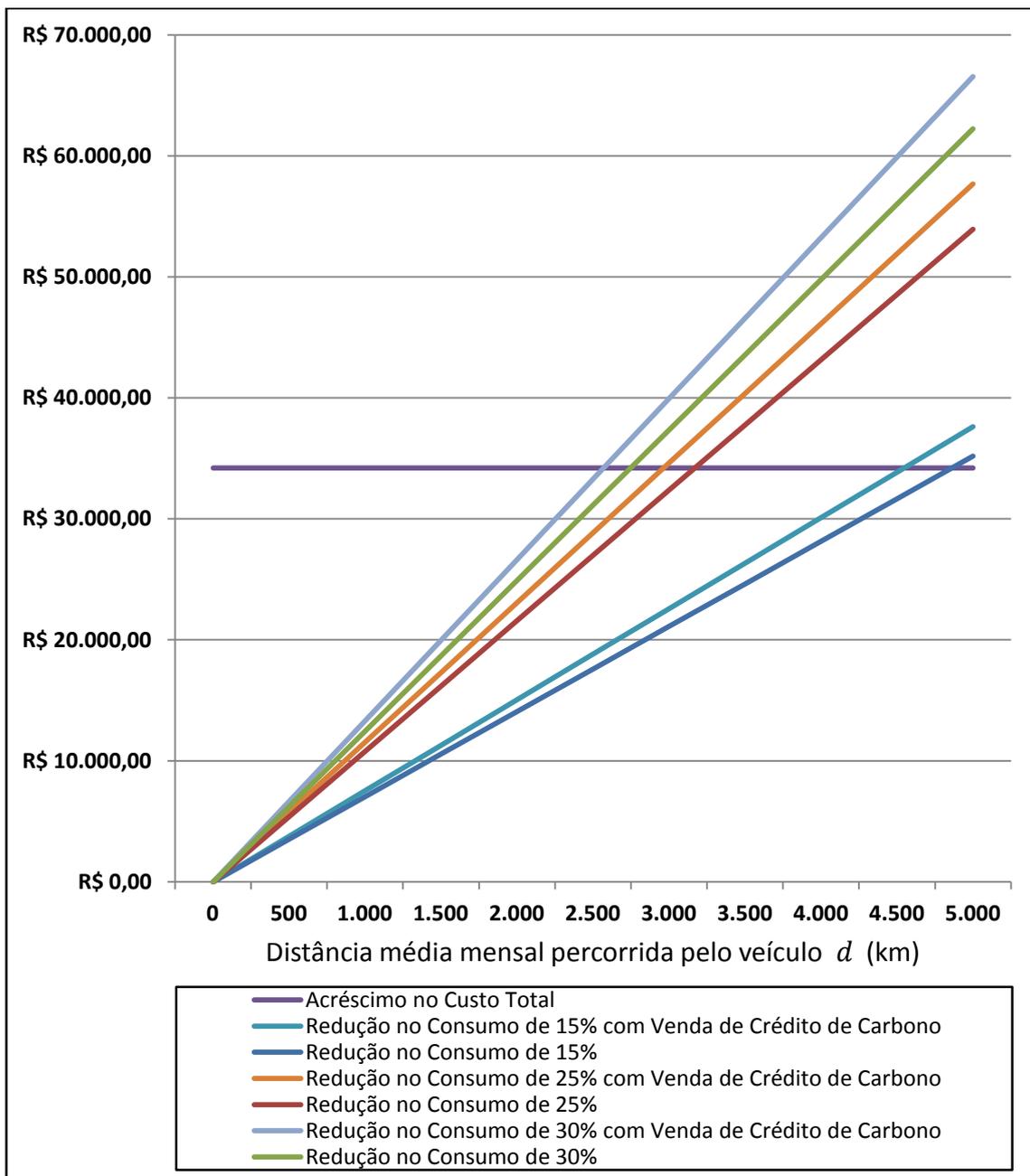


Figura 44: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46  
 Fonte: Elaboração do autor

Tomando-se o valor de R\$ 51,90 para cada tonelada vendida de carbono, obtém-se:

$$\begin{cases} d_{\text{viável}C_{15\%}} = 4.545,51 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{25\%}} = 2.964,46 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{30\%}} = 2.569,20 \text{ km} \end{cases}$$

Com esse valor do crédito de carbono, constrói-se o gráfico apresentado na figura 45:



**Figura 45: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda de crédito de carbono a R\$ 51,90**

Fonte: Elaboração do autor

Assim como na figura 43, nas figuras 44 e 45, todas as distâncias viáveis encontradas anteriormente, considerando-se a venda de crédito de carbono, estão assinaladas nos gráficos pelos pontos onde as linhas de redução total no custo de operação cruzam a reta de acréscimo no custo total.

#### 4.1.4.1.5. Cenário C.1: T = 3 anos e $i_D = 0,027$ (2,7%)

Da equação (1), considerando  $i_r = 0,3251$  (32,51%), do item 4.1.3.3, tem-se que:

$$V_r = V_{H_r} = \text{R\$ } 101.457,88$$

Utilizando-se as equações (2) e (3), obtém-se o custo de capital a valor presente para o caminhão padrão ( $CC_{VP}$ ) e híbrido ( $CCH_{VP}$ ):

$$\begin{cases} CC_{VP} = \text{R\$ } 283.542,12 \\ CCH_{VP} = \text{R\$ } 322.042,12 \end{cases}$$

O acréscimo no custo de capital a valor presente é dado pela equação (4). Assim, tem-se que:

$$\Delta CC_{VP} = \text{R\$ } 38.500,00$$

As equações (5) e (6) fornecem o custo total de manutenção dos veículos padrão e híbrido, respectivamente:

$$\begin{cases} CM = \text{R\$ } 41.400,00 \\ CMH = \text{R\$ } 40.200,00 \end{cases}$$

Considerando-se o aumento anual do custo de manutenção, conforme explicitado no método, a redução total no custo de manutenção, a valor presente, para cada tipo de veículo, é dada pelas equações (12) e (14):

$$\begin{cases} CM_{VP} = \text{R\$ } 112.860,24 \\ CMH_{VP} = \text{R\$ } 109.588,93 \end{cases}$$

Dessa forma, a redução no custo de manutenção total, para o período de tempo  $T = 3$  anos, é dado pela aplicação da equação (14):

$$\Delta CM_{VP} = R\$ 3.271,31$$

Portanto, o valor do acréscimo real pela introdução do sistema HRB no veículo é fornecido pela equação (15):

$$\Delta CR_{VP} = R\$ 35.228,69$$

Considerando as colunas Ano 1 à Ano 3 das tabelas 21, 22 e 23, calcula-se a redução total no custo de operação, a valor presente, para cada uma das taxas de redução de consumo de combustível, pela equação (24). Os resultados estão expostos na tabela 52.

**Tabela 52: Redução total no custo de operação para o cenário C.1**

<b>REDUÇÃO TOTAL NO CUSTO DE OPERAÇÃO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$\Delta CO_{TVP_{15\%}}$	$\Delta CO_{TVP_{25\%}}$	$\Delta CO_{TVP_{30\%}}$
0	0	0	0
500	2.586,99	3.966,71	4.576,98
1.000	5.173,97	7.933,43	9.153,95
1.500	7.760,96	11.900,14	13.730,93
2.000	10.347,95	15.866,85	18.307,91
2.500	12.934,93	19.833,57	22.884,88
3.000	15.521,92	23.800,28	27.461,86
3.500	18.108,91	27.766,99	32.038,84
4.000	20.695,90	31.733,71	36.615,82
4.500	23.282,88	35.700,42	41.192,79
5.000	25.869,87	39.667,13	45.769,77

Fonte: Elaboração do autor

Assim, o retorno financeiro por veículo a valor presente, obtido aplicando-se a equação (26), é apresentado na tabela 53.

**Tabela 53: Retorno financeiro para o cenário C.1**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-35.228,69	-35.228,69	-35.228,69
500	-32.641,70	-31.261,98	-30.651,71
1.000	-30.054,71	-27.295,26	-26.074,73
1.500	-27.467,73	-23.328,55	-21.497,76
2.000	-24.880,74	-19.361,84	-16.920,78
2.500	-22.293,75	-15.395,12	-12.343,80
3.000	-19.706,77	-11.428,41	-7.766,83
3.500	-17.119,78	-7.461,70	-3.189,85
4.000	-14.532,79	-3.494,98	1.387,13
4.500	-11.945,81	471,73	5.964,10
5.000	-9.358,82	4.438,44	10.541,08

Fonte: Elaboração do autor

Considerando a possibilidade de se vender créditos de carbono, aplicando-se a equação (30), encontra-se o lucro financeiro total a valor presente obtido com essa venda. Os resultados estão expostos nas tabelas 54 e 55, para os valores de R\$ 8,46 e R\$ 51,90 do crédito de carbono, respectivamente.

**Tabela 54: Lucro total da venda de crédito de carbono ( $Z_c = R\$ 8,46$ )**

<b>LUCRO TOTAL, A VALOR PRESENTE, DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO (<math>Z_c = R\\$ 8,46</math>)</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$LT_{VP_{C_{15\%}}}$	$LT_{VP_{C_{25\%}}}$	$LT_{VP_{C_{30\%}}}$
0	0	0	0
500	30,80	47,22	54,49
1.000	61,60	94,45	108,98
1.500	92,40	141,67	163,47
2.000	123,20	188,90	217,96
2.500	153,99	236,12	272,45
3.000	184,79	283,35	326,94
3.500	215,59	330,57	381,43
4.000	246,39	377,80	435,92
4.500	277,19	425,02	490,41
5.000	307,99	472,25	544,90

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 55: Lucro total da venda de crédito de carbono ( $Z_c = R\$ 51,90$ )**

<b>LUCRO TOTAL, A VALOR PRESENTE, DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO (<math>Z_c = R\\$ 51,90</math>)</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$LT_{VP_{C15\%}}$	$LT_{VP_{C25\%}}$	$LT_{VP_{C30\%}}$
0	0	0	0
500	188,94	289,71	334,28
1.000	377,89	579,42	668,57
1.500	566,83	869,14	1.002,85
2.000	755,77	1.158,85	1.337,13
2.500	944,71	1.448,56	1.671,42
3.000	1.133,66	1.738,27	2.005,70
3.500	1.322,60	2.027,99	2.339,98
4.000	1.511,54	2.317,70	2.674,27
4.500	1.700,48	2.607,41	3.008,55
5.000	1.889,43	2.897,12	3.342,83

Fonte: Elaboração do autor

Acrescentando-se os valores obtidos com a venda de crédito de carbono ao resultado apresentado na tabela 53, verifica-se um aumento no retorno financeiro, como pode ser observado nas tabelas 56 e 57 para valores do crédito de carbono de R\$ 8,46 e R\$ 51,90, respectivamente.

**Tabela 56: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 8,46</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB15\%}$	$R_{PB25\%}$	$R_{PB30\%}$
0	-35.228,69	-35.228,69	-35.228,69
500	-32.610,90	-31.214,75	-30.597,22
1.000	-29.993,12	-27.200,81	-25.965,75
1.500	-27.375,33	-23.186,87	-21.334,29
2.000	-24.757,55	-19.172,94	-16.702,82
2.500	-22.139,76	-15.159,00	-12.071,35
3.000	-19.521,97	-11.145,06	-7.439,89
3.500	-16.904,19	-7.131,12	-2.808,42
4.000	-14.286,40	-3.117,18	1.823,05
4.500	-11.668,62	896,75	6.454,51
5.000	-9.050,83	4.910,69	11.085,98

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 57: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

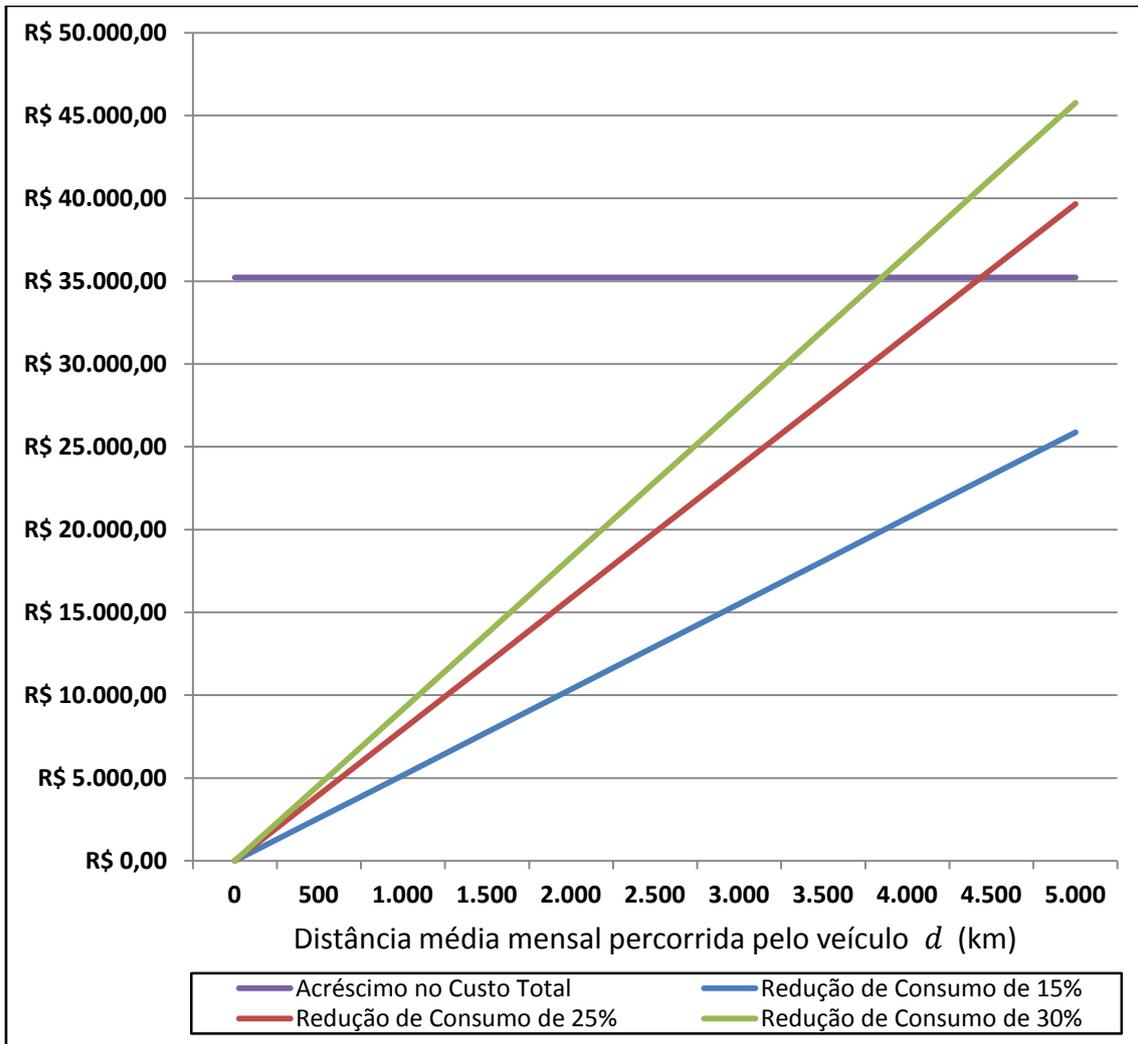
<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 51,90</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-35.228,69	-35.228,69	-35.228,69
500	-32.452,76	-30.972,26	-30.317,43
1.000	-29.676,83	-26.715,84	-25.406,17
1.500	-26.900,90	-22.459,41	-20.494,91
2.000	-24.124,97	-18.202,99	-15.583,65
2.500	-21.349,04	-13.946,56	-10.672,39
3.000	-18.573,11	-9.690,14	-5.761,13
3.500	-15.797,18	-5.433,71	-849,87
4.000	-13.021,25	-1.177,28	4.061,39
4.500	-10.245,32	3.079,14	8.972,65
5.000	-7.469,39	7.335,57	13.883,91

Fonte: Elaboração do autor

Para este cenário, os valores das distâncias, a partir das quais a introdução da tecnologia híbrida diesel-hidráulica em um veículo de coleta de resíduos é viável, são:

$$\left\{ \begin{array}{l} d_{\text{viável}15\%} = 6.808,83 \text{ km} \\ d_{\text{viável}25\%} = 4.440,54 \text{ km} \\ d_{\text{viável}30\%} = 3.848,47 \text{ km} \end{array} \right.$$

Do mesmo modo como foi feito nos cenários anteriores, com base na tabela 52 e considerando-se o acréscimo no custo total devido à aquisição do sistema híbrido, constrói-se o gráfico da figura 46.



**Figura 46: Gráfico de análise da viabilidade financeira para o cenário C.1**  
 Fonte: Elaboração do autor

No gráfico, as linhas que representam a redução de consumo de 25% e 30% cruzam a reta de acréscimo no custo total, determinando os valores encontrados anteriormente para as respectivas distâncias viáveis. O não cruzamento da linha de redução de consumo de 15% indica que não há uma distância mínima em que o sistema é viável, no intervalo de distâncias considerado, para a taxa  $i_{\text{cons}}$  de 15%.

Considerando a venda de crédito de carbono, os valores das distâncias a partir das quais o sistema híbrido se torna viável, para o valor do crédito igual R\$ 8,46, valem:

$$\begin{cases} d_{\text{viável}C_{15\%}} = 6.728,72 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{25\%}} = 4.388,29 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{30\%}} = 3.803,19 \text{ km} \end{cases}$$

O gráfico da figura 47 foi construído nos moldes do gráfico da figura 46, porém, considerando-se a venda de crédito de carbono a R\$ 8,46 por tonelada de carbono.

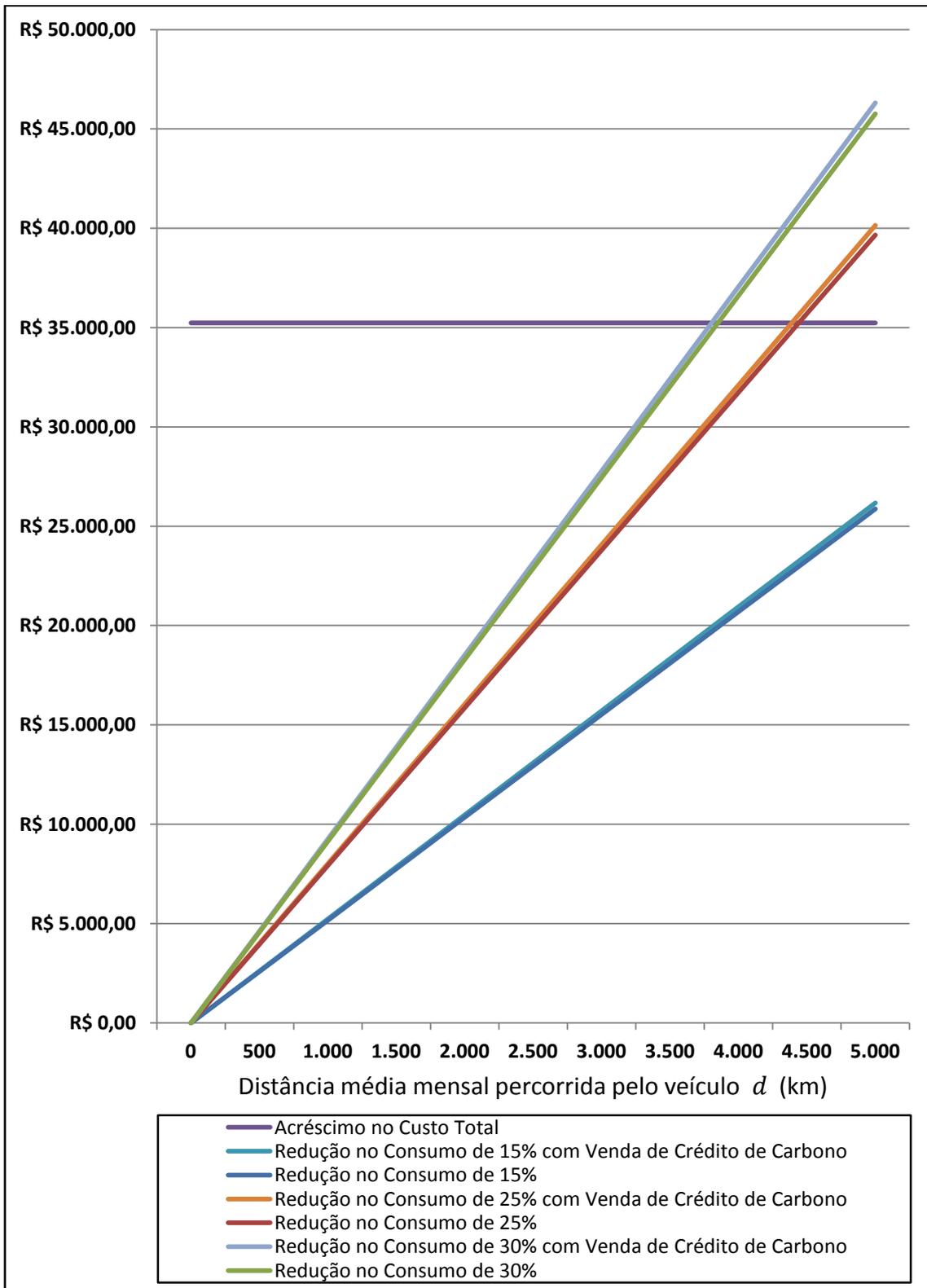


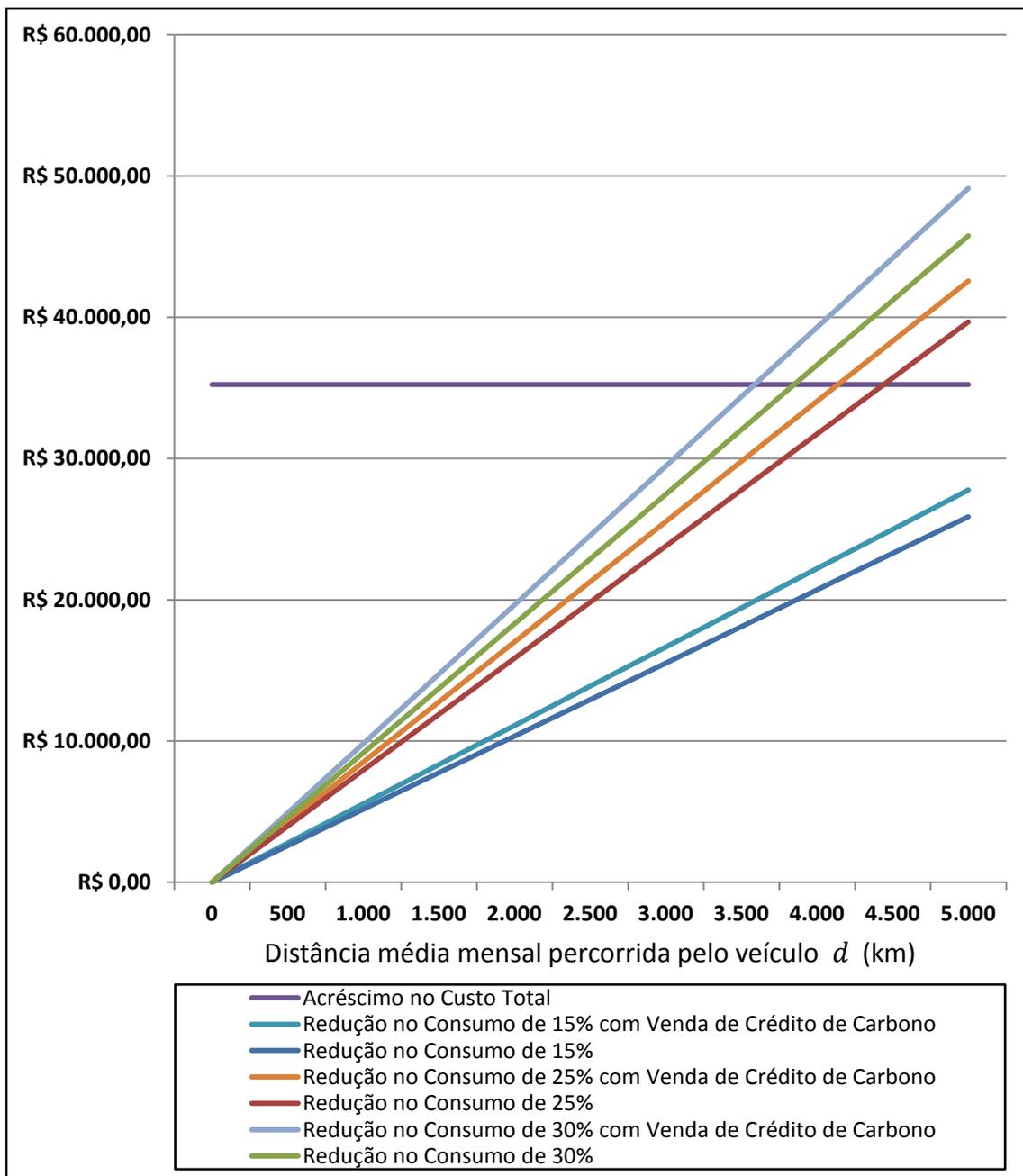
Figura 47: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46

Fonte: Elaboração do autor

Tomando-se o valor de R\$ 51,90 para cada tonelada vendida de carbono, obtém-se:

$$\begin{cases} d_{\text{viável}C_{15\%}} = 6.345,39 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{25\%}} = 4.138,29 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{30\%}} = 3.586,52 \text{ km} \end{cases}$$

Com esse valor do crédito de carbono, constrói-se o gráfico apresentado na figura 48:



**Figura 48: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

Fonte: Elaboração do autor

Da mesma forma que no gráfico da figura 46, nos gráficos das figuras 47 e 48, somente as linhas de redução total no custo de operação para as taxas  $i_{\text{CONS}}$  de 25% e 30% cruzam a reta de acréscimo no custo total, determinando os valores encontrados anteriormente para as distâncias viáveis, considerando-se a venda de crédito de carbono.

#### 4.1.4.1.6. Cenário C.2: $T = 3$ anos e $i_D = 0,056$ (5,6%)

Este cenário difere do B.1 somente com relação à taxa de aumento anual do preço do diesel. Essa alteração impacta os custos de operação e, por conseguinte, o retorno financeiro. Os valores residuais, os custos de capital, de manutenção e de acréscimo real pela introdução do sistema HRB no veículo, serão os mesmos encontrados para o cenário C.1. Assim, a tabela 58 condensa os resultados encontrados e que servirão para o cálculo das demais variáveis do método aplicado.

**Tabela 58: Resultados calculados pela aplicação do método no cenário C.1**

VARIÁVEL	VALOR
<b>VEÍCULO</b>	
$V_r$	R\$ 101.457,88
$VH_r$	R\$ 101.457,88
$CC_{VP}$	R\$ 283.542,12
$CCH_{VP}$	R\$ 322.042,12
$\Delta CC_{VP}$	R\$ 38.500,00
$\Delta CR_{VP}$	R\$ 35.228,69
<b>MANUTENÇÃO</b>	
CM	R\$ 41.400,00
CMH	R\$ 40.200,00
$CM_{VP}$	R\$ 112.860,24
$CMH_{VP}$	R\$ 109.588,93
$\Delta CM_{VP}$	R\$ 3.271,31

Fonte: Elaboração do autor

Considerando as colunas Ano 1 à Ano 3 das tabelas 24, 25 e 26, calcula-se a redução total no custo de operação, a valor presente, para cada uma das taxas de redução de consumo de combustível, pela equação (24). Os resultados estão expostos na tabela 59.

**Tabela 59: Redução total no custo de operação para o cenário C.2**

<b>REDUÇÃO TOTAL NO CUSTO DE OPERAÇÃO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$\Delta CO_{T_{VP_{15\%}}}$	$\Delta CO_{T_{VP_{25\%}}}$	$\Delta CO_{T_{VP_{30\%}}}$
0	0	0	0
500	2.658,58	4.076,50	4.703,65
1.000	5.317,17	8.152,99	9.407,30
1.500	7.975,75	12.229,49	14.110,95
2.000	10.634,34	16.305,99	18.814,60
2.500	13.292,92	20.382,48	23.518,25
3.000	15.951,51	24.458,98	28.221,90
3.500	18.610,09	28.535,48	32.925,55
4.000	21.268,68	32.611,97	37.629,20
4.500	23.927,26	36.688,47	42.332,85
5.000	26.585,85	40.764,97	47.036,50

Fonte: Elaboração do autor

Assim, o retorno financeiro por veículo a valor presente, obtido aplicando-se a equação (26), é apresentado na tabela 60.

**Tabela 60: Retorno financeiro para o cenário C.2**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-35.228,69	-35.228,69	-35.228,69
500	-32.570,10	-31.152,19	-30.525,04
1.000	-29.911,52	-27.075,70	-25.821,39
1.500	-27.252,93	-22.999,20	-21.117,74
2.000	-24.594,35	-18.922,70	-16.414,09
2.500	-21.935,77	-14.846,21	-11.710,44
3.000	-19.277,18	-10.769,71	-7.006,79
3.500	-16.618,60	-6.693,21	-2.303,14
4.000	-13.960,01	-2.616,72	2.400,51
4.500	-11.301,43	1.459,78	7.104,16
5.000	-8.642,84	5.536,28	11.807,81

Fonte: Elaboração do autor

Novamente, cabe ressaltar que os valores assinalados em vermelho representam um acréscimo no custo, e não um retorno financeiro. Por esse motivo é que assumem um valor negativo.

As tabelas 61 e 62 apresentam os valores encontrados de retorno financeiro, considerando os mesmos resultados para o lucro com a venda de crédito de carbono das tabelas 54 e 55, pois a redução no consumo de combustível é a mesma em C.1 e C.2.

**Tabela 61: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO 8,46</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-35.228,69	-35.228,69	-35.228,69
500	-32.539,31	-31.104,97	-30.470,55
1.000	-29.849,92	-26.981,25	-25.712,41
1.500	-27.160,54	-22.857,52	-20.954,27
2.000	-24.471,15	-18.733,80	-16.196,13
2.500	-21.781,77	-14.610,08	-11.437,99
3.000	-19.092,39	-10.486,36	-6.679,85
3.500	-16.403,00	-6.362,64	-1.921,71
4.000	-13.713,62	-2.238,92	2.836,43
4.500	-11.024,24	1.884,80	7.594,57
5.000	-8.334,85	6.008,52	12.352,71

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 62: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

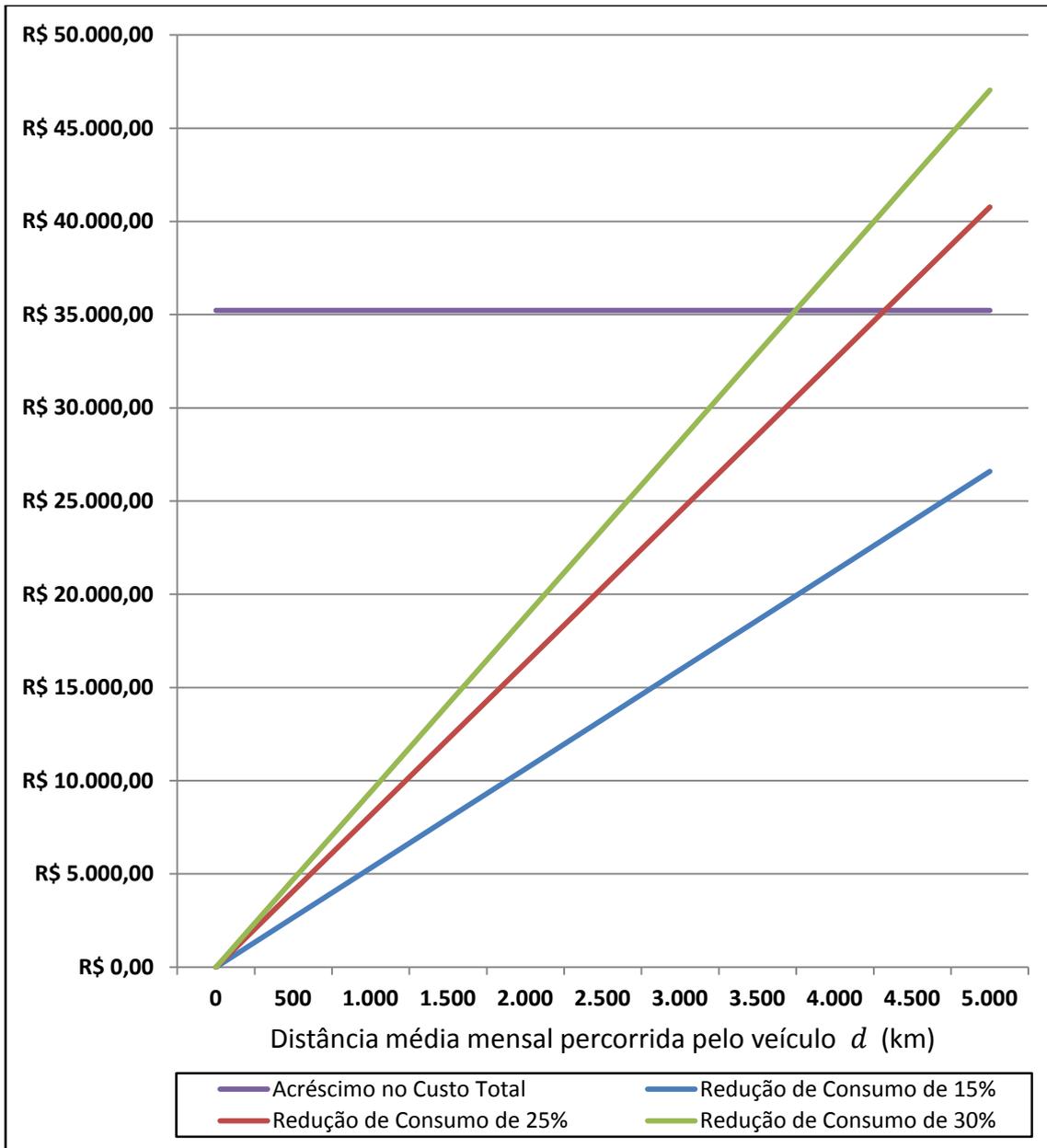
<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO 51,90</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-35.228,69	-35.228,69	-35.228,69
500	-32.381,16	-30.862,48	-30.190,76
1.000	-29.533,63	-26.496,27	-25.152,82
1.500	-26.686,11	-22.130,06	-20.114,89
2.000	-23.838,58	-17.763,85	-15.076,96
2.500	-20.991,05	-13.397,64	-10.039,02
3.000	-18.143,52	-9.031,44	-5.001,09
3.500	-15.296,00	-4.665,23	36,84
4.000	-12.448,47	-299,02	5.074,78
4.500	-9.600,94	4.067,19	10.112,71
5.000	-6.753,41	8.433,40	15.150,64

Fonte: Elaboração do autor

Os valores das distâncias, a partir das quais a introdução da tecnologia híbrida diesel-hidráulica em um veículo de coleta de resíduos é viável, são:

$$\begin{cases} d_{\text{viável}15\%} = 6.625,46 \text{ km} \\ d_{\text{viável}25\%} = 4.320,95 \text{ km} \\ d_{\text{viável}30\%} = 3.744,82 \text{ km} \end{cases}$$

Com base na tabela 59, considerando-se o acréscimo no custo total devido à aquisição do sistema híbrido, constrói-se o gráfico da figura 49.



**Figura 49: Gráfico de análise da viabilidade financeira para o cenário C.2**

Fonte: Elaboração do autor

Considerando a venda de crédito de carbono, os valores das distâncias a partir das quais o sistema híbrido se torna viável, baseando-se no valor do crédito igual a R\$ 8,46, são:

$$\begin{cases} d_{\text{viável}C_{15\%}} = 6.549,58 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{25\%}} = 4.271,47 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{30\%}} = 3.701,94 \text{ km} \end{cases}$$

O gráfico da figura 50 foi construído nos moldes do gráfico da figura 49, porém, considerando-se a venda de crédito de carbono a R\$ 8,46 por tonelada de carbono.

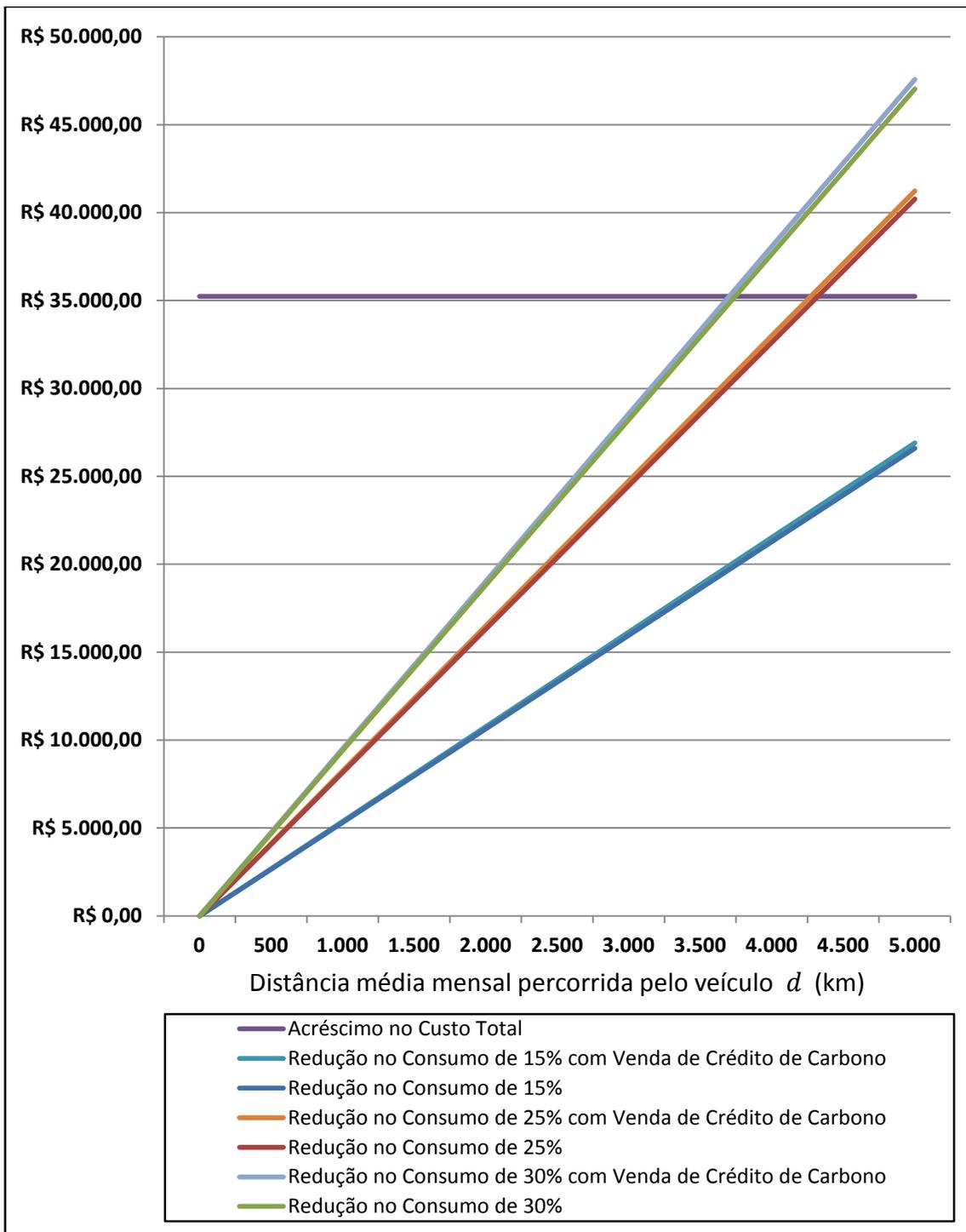
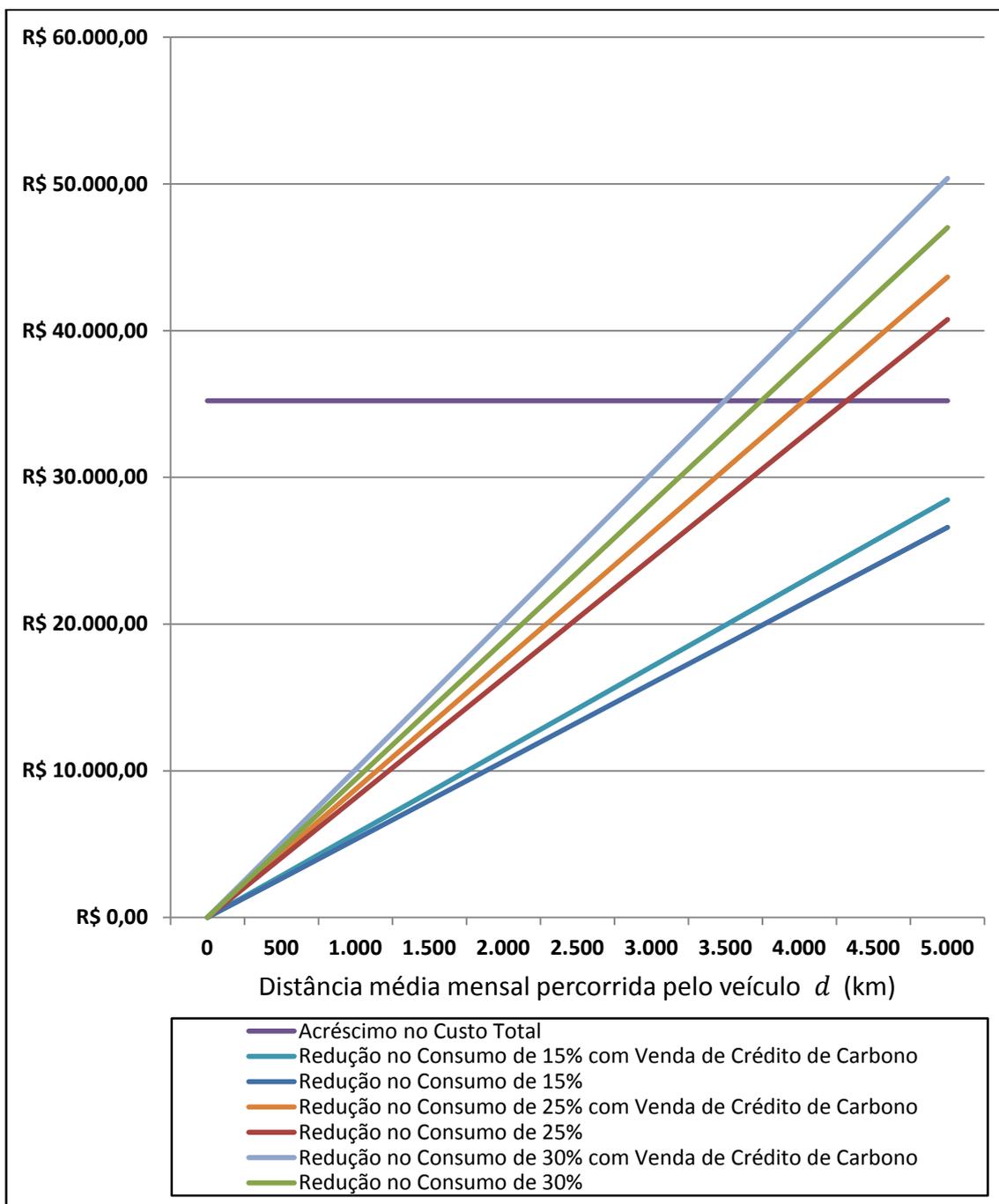


Figura 50: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46  
 Fonte: Elaboração do autor

Tomando-se o valor de R\$ 51,90 para cada tonelada vendida de carbono, obtém-se:

$$\begin{cases} d_{\text{viável}C_{15\%}} = 6.185,84 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{25\%}} = 4.034,24 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{30\%}} = 3.496,34 \text{ km} \end{cases}$$

Com esse valor do crédito de carbono, constrói-se o gráfico apresentado na figura 51:



**Figura 51: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda de crédito de carbono a R\$ 51,90**

Fonte: Elaboração do autor

Da mesma forma que no gráfico da figura 49, nos gráficos das figuras 50 e 51, somente as linhas de redução total no custo de operação para as taxas  $i_{\text{cons}}$  de 25% e 30% cruzam a reta de acréscimo no custo total, determinando os valores encontrados anteriormente para as distâncias viáveis, considerando-se a venda de crédito de carbono.

#### 4.1.4.1.7. Cenário D.1: T = 2 anos e $i_D = 0,027$ (2,7%)

Da equação (1), considerando  $i_r = 0,3376$  (33,76%), do item 4.1.3.3, tem-se que:

$$V_r = V_{H_r} = \text{R\$ } 112.997,43$$

Utilizando-se as equações (2) e (3), obtém-se o custo de capital a valor presente para o caminhão padrão ( $CC_{VP}$ ) e híbrido ( $CCH_{VP}$ ):

$$\begin{cases} CC_{VP} = \text{R\$ } 272.002,57 \\ CCH_{VP} = \text{R\$ } 310.502,57 \end{cases}$$

O acréscimo no custo de capital a valor presente é dado pela equação (4). Assim, tem-se que:

$$\Delta CC_{VP} = \text{R\$ } 38.500,00$$

As equações (5) e (6) fornecem o custo total de manutenção dos veículos padrão e híbrido, respectivamente:

$$\begin{cases} CM = \text{R\$ } 41.400,00 \\ CMH = \text{R\$ } 40.200,00 \end{cases}$$

Considerando-se o aumento anual do custo de manutenção, conforme explicitado no método, a redução total no custo de manutenção, a valor presente, para cada tipo de veículo, é dada pelas equações (12) e (13):

$$\begin{cases} CM_{VP} = \text{R\$ } 76.213,02 \\ CMH_{VP} = \text{R\$ } 74.003,94 \end{cases}$$

Dessa forma, a redução no custo de manutenção total, para o período de tempo  $T = 2$  anos, é dado pela aplicação da equação (14):

$$\Delta CM_{VP} = \text{R\$ } 2.209,07$$

Portanto, o valor do acréscimo real pela introdução do sistema HRB no veículo é fornecido pela equação (15):

$$\Delta CR_{VP} = R\$ 36.290,93$$

Considerando as colunas Ano 1 e Ano 2 das tabelas 21, 22 e 23, calcula-se a redução total no custo de operação, a valor presente, para cada uma das taxas de redução de consumo de combustível, pela equação (24). Os resultados estão expostos na tabela 63.

**Tabela 63: Redução total no custo de operação para o cenário D.1**

<b>REDUÇÃO TOTAL NO CUSTO DE OPERAÇÃO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$\Delta CO_{T_{VP15\%}}$	$\Delta CO_{T_{VP25\%}}$	$\Delta CO_{T_{VP30\%}}$
0	0	0	0
500	1.761,76	2.701,36	3.116,96
1.000	3.523,52	5.402,73	6.233,92
1.500	5.285,28	8.104,09	9.350,87
2.000	7.047,03	10.805,45	12.467,83
2.500	8.808,79	13.506,82	15.584,79
3.000	10.570,55	16.208,18	18.701,75
3.500	12.332,31	18.909,54	21.818,70
4.000	14.094,07	21.610,91	24.935,66
4.500	15.855,83	24.312,27	28.052,62
5.000	17.617,59	27.013,63	31.169,58

Fonte: Elaboração do autor

Assim, o retorno financeiro por veículo a valor presente, obtido aplicando-se a equação (26), é apresentado na tabela 64.

**Tabela 64: Retorno financeiro para o cenário D.1**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-36.290,93	-36.290,93	-36.290,93
500	-34.529,17	-33.589,56	-33.173,97
1.000	-32.767,41	-30.888,20	-30.057,01
1.500	-31.005,65	-28.186,84	-26.940,05
2.000	-29.243,89	-25.485,47	-23.823,10
2.500	-27.482,13	-22.784,11	-20.706,14
3.000	-25.720,38	-20.082,75	-17.589,18
3.500	-23.958,62	-17.381,38	-14.472,22
4.000	-22.196,86	-14.680,02	-11.355,27
4.500	-20.435,10	-11.978,66	-8.238,31
5.000	-18.673,34	-9.277,29	-5.121,35

Fonte: Elaboração do autor

Da tabela 64, observa-se que, dentro do cenário D.1, não há retorno financeiro em se aplicar o sistema híbrido ao veículo, para o intervalo de distâncias considerado e para as taxas de redução no consumo de combustível pré-definidas.

Considerando a possibilidade de se vender créditos de carbono, dada a redução na emissão de CO<sub>2</sub>, e aplicando-se a equação (30), encontra-se o lucro financeiro total a valor presente obtido com essa venda. Os resultados estão expostos nas tabelas 65 e 66, para os valores de R\$ 8,46 e R\$ 51,90 do crédito de carbono, respectivamente.

**Tabela 65: Lucro total da venda de crédito de carbono ( $Z_c = R\$ 8,46$ )**

<b>LUCRO TOTAL, A VALOR PRESENTE, DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO (<math>Z_c = R\\$ 8,46</math>)</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$LT_{VPC_{15\%}}$	$LT_{VPC_{25\%}}$	$LT_{VPC_{30\%}}$
0	0	0	0
500	21,24	32,57	37,58
1.000	42,48	65,14	75,16
1.500	63,73	97,71	112,75
2.000	84,97	130,28	150,33
2.500	106,21	162,86	187,91
3.000	127,45	195,43	225,49
3.500	148,69	228,00	263,08
4.000	169,94	260,57	300,66
4.500	191,18	293,14	338,24
5.000	212,42	325,71	375,82

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 66: Lucro total da venda de crédito de carbono ( $Z_c = R\$ 51,90$ )**

<b>LUCRO TOTAL, A VALOR PRESENTE, DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO (<math>Z_c = R\\$ 51,90</math>)</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$LT_{VP_{C15\%}}$	$LT_{VP_{C25\%}}$	$LT_{VP_{C30\%}}$
0	0	0	0
500	130,32	199,82	230,56
1.000	260,63	399,63	461,11
1.500	390,95	599,45	691,67
2.000	521,26	799,27	922,23
2.500	651,58	999,08	1.152,79
3.000	781,89	1.198,90	1.383,34
3.500	912,21	1.398,71	1.613,90
4.000	1.042,52	1.598,53	1.844,46
4.500	1.172,84	1.798,35	2.075,02
5.000	1.303,15	1.998,16	2.305,57

Fonte: Elaboração do autor

Acrescentando-se os valores obtidos com a venda de crédito de carbono ao resultado apresentado na tabela 64, verifica-se um aumento no retorno financeiro, como pode ser observado nas tabelas 67 e 68 para valores do crédito de carbono de R\$ 8,46 e R\$ 51,90, respectivamente.

**Tabela 67: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 8,46</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB15\%}$	$R_{PB25\%}$	$R_{PB30\%}$
0	-36.290,93	-36.290,93	-36.290,93
500	-34.507,93	-33.556,99	-33.136,39
1.000	-32.724,93	-30.823,06	-29.981,85
1.500	-30.941,92	-28.089,12	-26.827,31
2.000	-29.158,92	-25.355,19	-23.672,77
2.500	-27.375,92	-22.621,25	-20.518,23
3.000	-25.592,92	-19.887,32	-17.363,69
3.500	-23.809,92	-17.153,39	-14.209,15
4.000	-22.026,92	-14.419,45	-11.054,61
4.500	-20.243,92	-11.685,52	-7.900,07
5.000	-18.460,92	-8.951,58	-4.745,53

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 68: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 51,90</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-36.290,93	-36.290,93	-36.290,93
500	-34.398,85	-33.389,75	-32.943,41
1.000	-32.506,78	-30.488,57	-29.595,90
1.500	-30.614,71	-27.587,39	-26.248,38
2.000	-28.722,63	-24.686,21	-22.900,87
2.500	-26.830,56	-21.785,03	-19.553,35
3.000	-24.938,48	-18.883,85	-16.205,84
3.500	-23.046,41	-15.982,67	-12.858,32
4.000	-21.154,34	-13.081,49	-9.510,81
4.500	-19.262,26	-10.180,31	-6.163,29
5.000	-17.370,19	-7.279,13	-2.815,78

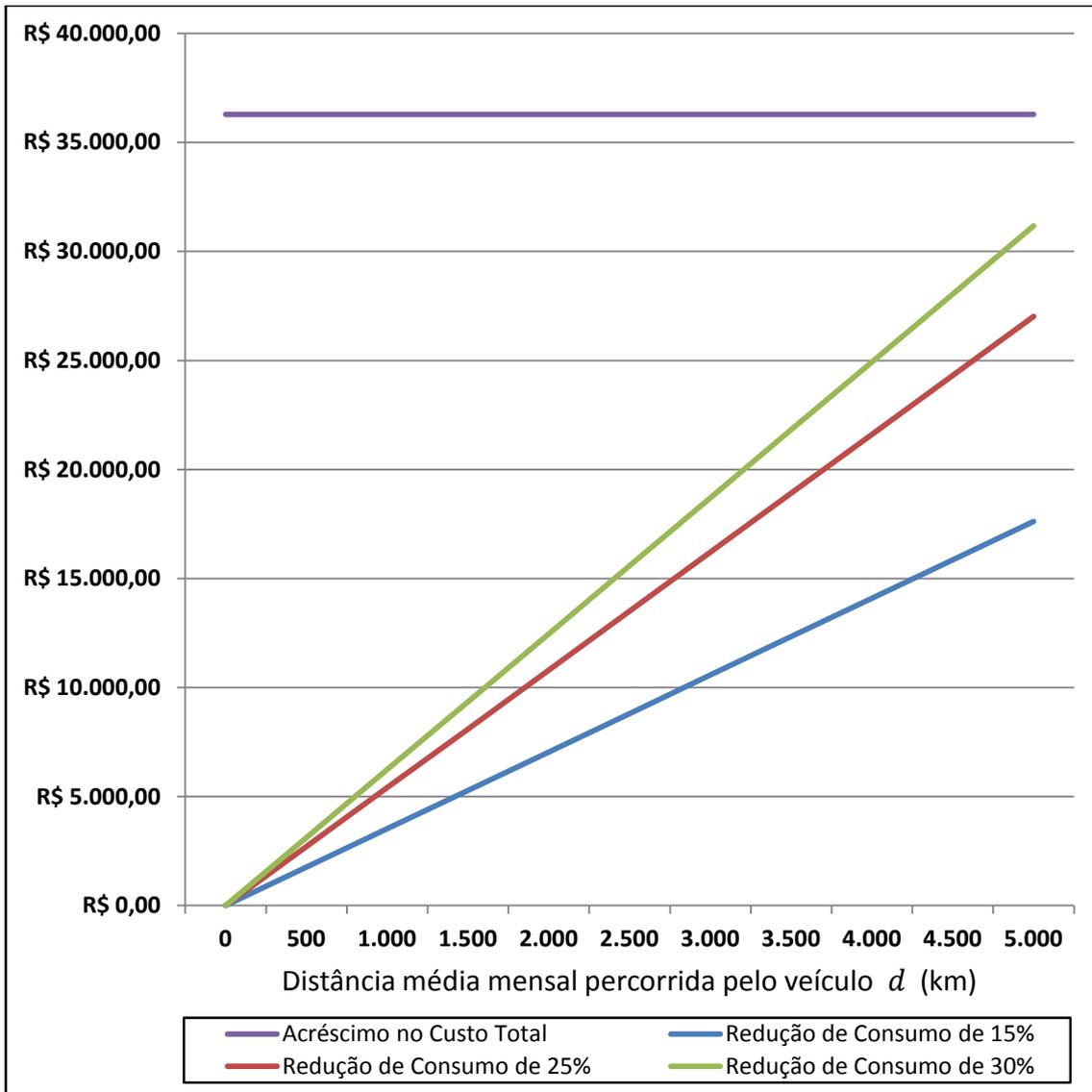
Fonte: Elaboração do autor

Da mesma forma que a tabela 64, as tabelas 67 e 68 indicam que, mesmo considerando a venda de crédito de carbono, não há retorno financeiro para o intervalo de distâncias considerado.

Os valores das distâncias, a partir das quais a introdução da tecnologia híbrida diesel-hidráulica em um veículo de coleta de resíduos é viável, valem:

$$\begin{cases} d_{\text{viável}15\%} = 10.299,63 \text{ km} \\ d_{\text{viável}25\%} = 6.717,15 \text{ km} \\ d_{\text{viável}30\%} = 5.821,53 \text{ km} \end{cases}$$

Do mesmo modo como foi feito nos cenários anteriores, com base na tabela 63 e considerando-se o acréscimo no custo total devido à aquisição do sistema híbrido, constrói-se o gráfico da figura 52.



**Figura 52: Gráfico de análise da viabilidade financeira para o cenário D.1**

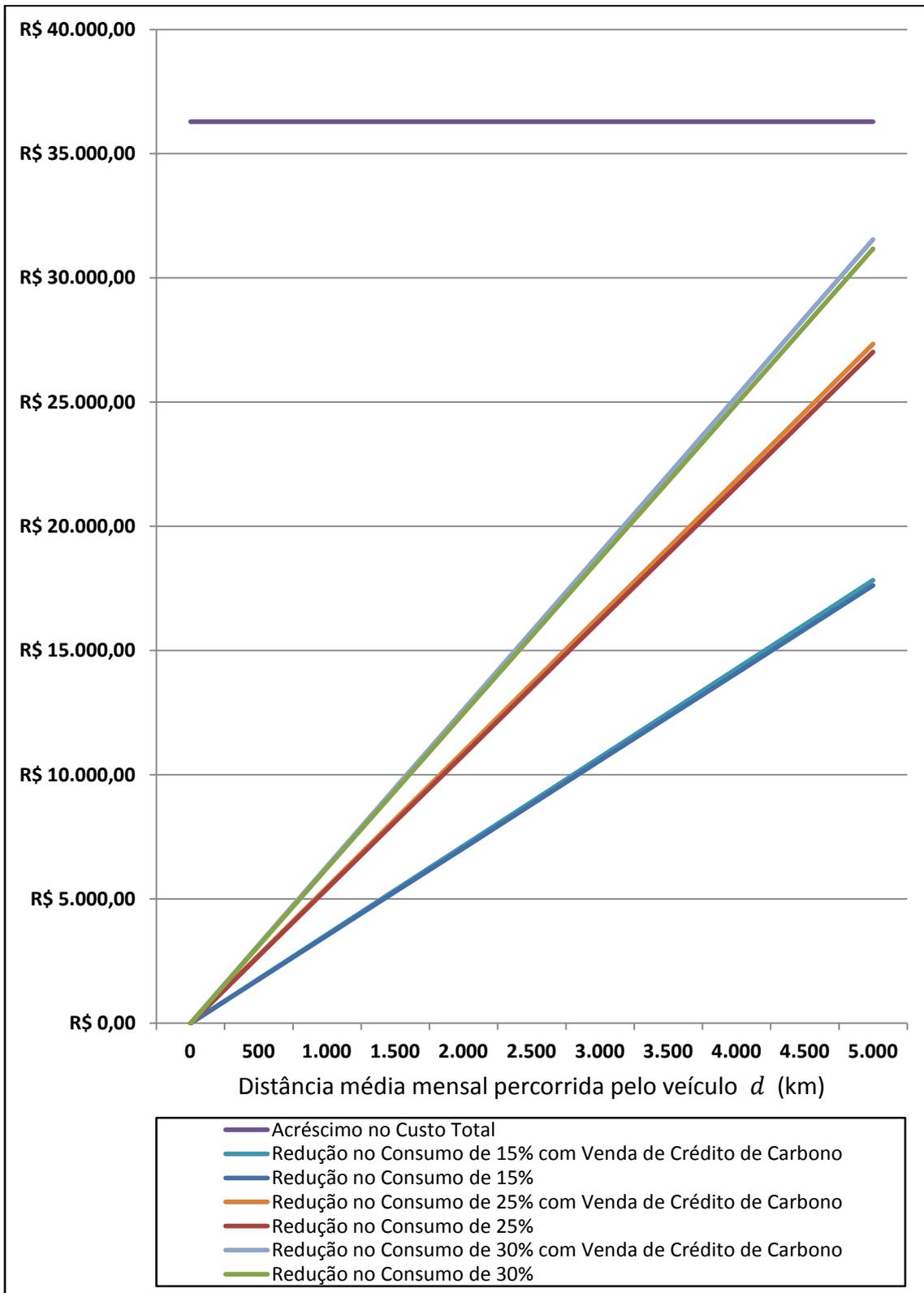
Fonte: Elaboração do autor

Como esperado, as linhas de redução total no custo de operação não cruzam com a reta de acréscimo no custo total, pois não há retorno financeiro para o cenário considerado, conforme mostrado na tabela 64.

Considerando a venda de crédito de carbono, os valores das distâncias a partir das quais o sistema híbrido se torna viável, para o valor do crédito igual R\$ 8,46, são:

$$\begin{cases} d_{\text{viável}C_{15\%}} = 10.176,92 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{25\%}} = 6.637,12 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{30\%}} = 5.752,17 \text{ km} \end{cases}$$

O gráfico da figura 53 foi construído nos moldes do gráfico da figura 52, porém, considerando-se a venda de crédito de carbono a R\$ 8,46 por tonelada de carbono.

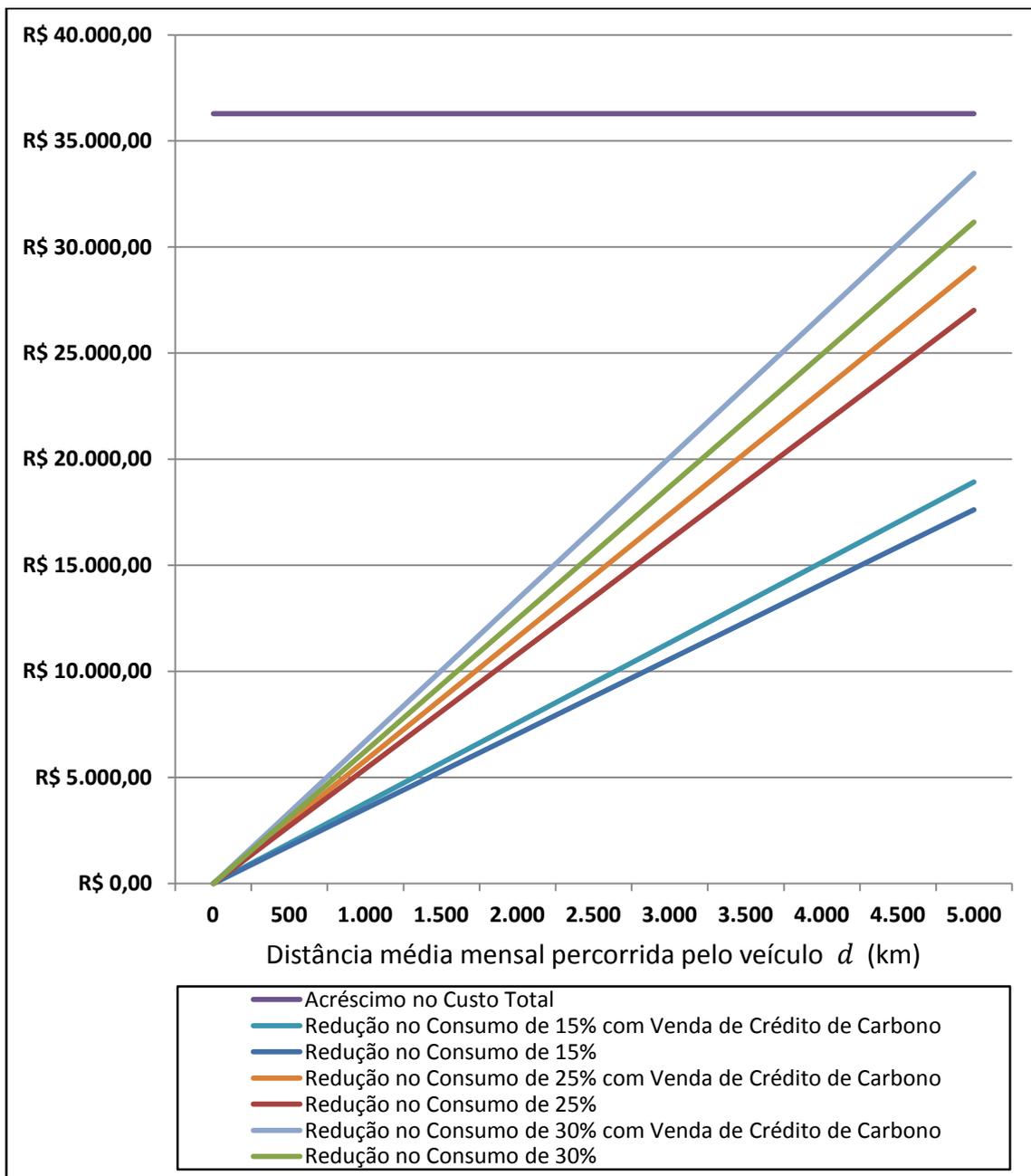


**Figura 53: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**  
 Fonte: Elaboração do autor

Tomando-se o valor de R\$ 51,90 para cada tonelada vendida de carbono, obtém-se:

$$\begin{cases} d_{\text{viável}C_{15\%}} = 9.590,25 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{25\%}} = 6.254,51 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{30\%}} = 5.420,58 \text{ km} \end{cases}$$

Com esse valor do crédito de carbono, constrói-se o gráfico apresentado na figura 54:



**Figura 54: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

Fonte: Elaboração do autor

Da mesma forma que no gráfico da figura 52, nos gráficos das figuras 53 e 54, as linhas de redução total no custo de operação não cruzam a reta de acréscimo no custo total, visto que não há retorno financeiro, mesmo considerando a venda de crédito de carbono, conforme visto nas tabelas 67 e 68.

#### 4.1.4.1.8. Cenário D.2: $T = 2$ anos e $i_D = 0,056$ (5,6%)

Este cenário difere do D.1 somente com relação à taxa de aumento anual do preço do diesel. Os valores residuais, os custos de capital, de manutenção e de acréscimo real pela introdução do sistema HRB no veículo, serão os mesmos encontrados para o cenário D.1. Assim, a tabela 69 condensa os resultados encontrados e que servirão para o cálculo das demais variáveis do método aplicado.

**Tabela 69: Resultados calculados pela aplicação do método no cenário D.1**

VARIÁVEL	VALOR
<b>VEÍCULO</b>	
$V_r$	R\$ 112.997,43
$VH_r$	R\$ 112.997,43
$CC_{VP}$	R\$ 272.002,57
$CCH_{VP}$	R\$ 310.502,57
$\Delta CC_{VP}$	R\$ 38.500,00
$\Delta CR_{VP}$	R\$ 36.290,93
<b>MANUTENÇÃO</b>	
CM	R\$ 41.400,00
CMH	R\$ 40.200,00
$CM_{VP}$	R\$ 76.213,02
$CMH_{VP}$	R\$ 74.003,94
$\Delta CM_{VP}$	R\$ 2.201,41

Fonte: Elaboração do autor

Considerando as colunas Ano 1 e Ano 2 das tabelas 24, 25 e 26, calcula-se a redução total no custo de operação, a valor presente, para cada uma das taxas de redução de consumo de combustível, pela equação (24). Os resultados estão expostos na tabela 70.

**Tabela 70: Redução total no custo de operação para o cenário D.2**

<b>REDUÇÃO TOTAL NO CUSTO DE OPERAÇÃO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$\Delta CO_{T_{VP_{15\%}}}$	$\Delta CO_{T_{VP_{25\%}}}$	$\Delta CO_{T_{VP_{30\%}}}$
0	0	0	0
500	1.786,09	2.738,68	3.160,01
1.000	3.572,19	5.477,35	6.320,02
1.500	5.358,28	8.216,03	9.480,03
2.000	7.144,37	10.954,71	12.640,05
2.500	8.930,47	13.693,38	15.800,06
3.000	10.716,56	16.432,06	18.960,07
3.500	12.502,65	19.170,74	22.120,08
4.000	14.288,75	21.909,41	25.280,09
4.500	16.074,84	24.648,09	28.440,10
5.000	17.860,94	27.386,77	31.600,12

Fonte: Elaboração do autor

Assim, o retorno financeiro por veículo a valor presente, obtido aplicando-se a equação (26), é apresentado na tabela 71.

**Tabela 71: Retorno financeiro para o cenário D.2**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-36.290,93	-36.290,93	-36.290,93
500	-34.504,83	-33.552,25	-33.130,92
1.000	-32.718,74	-30.813,57	-29.970,90
1.500	-30.932,65	-28.074,90	-26.810,89
2.000	-29.146,55	-25.336,22	-23.650,88
2.500	-27.360,46	-22.597,54	-20.490,87
3.000	-25.574,37	-19.858,87	-17.330,86
3.500	-23.788,27	-17.120,19	-14.170,85
4.000	-22.002,18	-14.381,51	-11.010,83
4.500	-20.216,09	-11.642,84	-7.850,82
5.000	-18.429,99	-8.904,16	-4.690,81

Fonte: Elaboração do autor

Da tabela 71, observa-se que, dentro do cenário D.2, não há retorno financeiro em se aplicar o sistema híbrido ao veículo, para o intervalo de distâncias considerado e para as taxas de redução no consumo de combustível pré-definidas.

As tabelas 72 e 73 apresentam os valores encontrados de retorno financeiro, considerando os mesmos resultados para o lucro com a venda de crédito de carbono das tabelas 65 e 66, pois a redução no consumo de combustível é a mesma em D.1 e D.2.

**Tabela 72: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO 8,46</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB15\%}$	$R_{PB25\%}$	$R_{PB30\%}$
0	-36.290,93	-36.290,93	-36.290,93
500	-34.483,59	-33.519,68	-33.093,33
1.000	-32.676,26	-30.748,43	-29.895,74
1.500	-30.868,92	-27.977,18	-26.698,15
2.000	-29.061,58	-25.205,94	-23.500,55
2.500	-27.254,25	-22.434,69	-20.302,96
3.000	-25.446,91	-19.663,44	-17.105,36
3.500	-23.639,58	-16.892,19	-13.907,77
4.000	-21.832,24	-14.120,94	-10.710,18
4.500	-20.024,91	-11.349,70	-7.512,58
5.000	-18.217,57	-8.578,45	-4.314,99

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 73: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO 51,90</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB15\%}$	$R_{PB25\%}$	$R_{PB30\%}$
0	-36.290,93	-36.290,93	-36.290,93
500	-34.374,52	-33.352,43	-32.900,36
1.000	-32.458,11	-30.413,94	-29.509,79
1.500	-30.541,70	-27.475,45	-26.119,22
2.000	-28.625,29	-24.536,95	-22.728,65
2.500	-26.708,88	-21.598,46	-19.338,08
3.000	-24.792,48	-18.659,97	-15.947,51
3.500	-22.876,07	-15.721,48	-12.556,94
4.000	-20.959,66	-12.782,98	-9.166,38
4.500	-19.043,25	-9.844,49	-5.775,81
5.000	-17.126,84	-6.906,00	-2.385,24

Fonte: Elaboração do autor

Da mesma forma que a tabela 71, as tabelas 72 e 73 indicam que, mesmo considerando a venda de crédito de carbono, não há retorno financeiro para o intervalo de distâncias considerado.

Os valores das distâncias, a partir das quais a introdução da tecnologia híbrida diesel-hidráulica em um veículo de coleta de resíduos é viável, valem:

$$\begin{cases} d_{\text{viável}15\%} = 10.159,30 \text{ km} \\ d_{\text{viável}25\%} = 6.625,63 \text{ km} \\ d_{\text{viável}30\%} = 5.742,21 \text{ km} \end{cases}$$

Com base na tabela 70, considerando-se o acréscimo no custo total devido à aquisição do sistema híbrido, constrói-se o gráfico da figura 55.

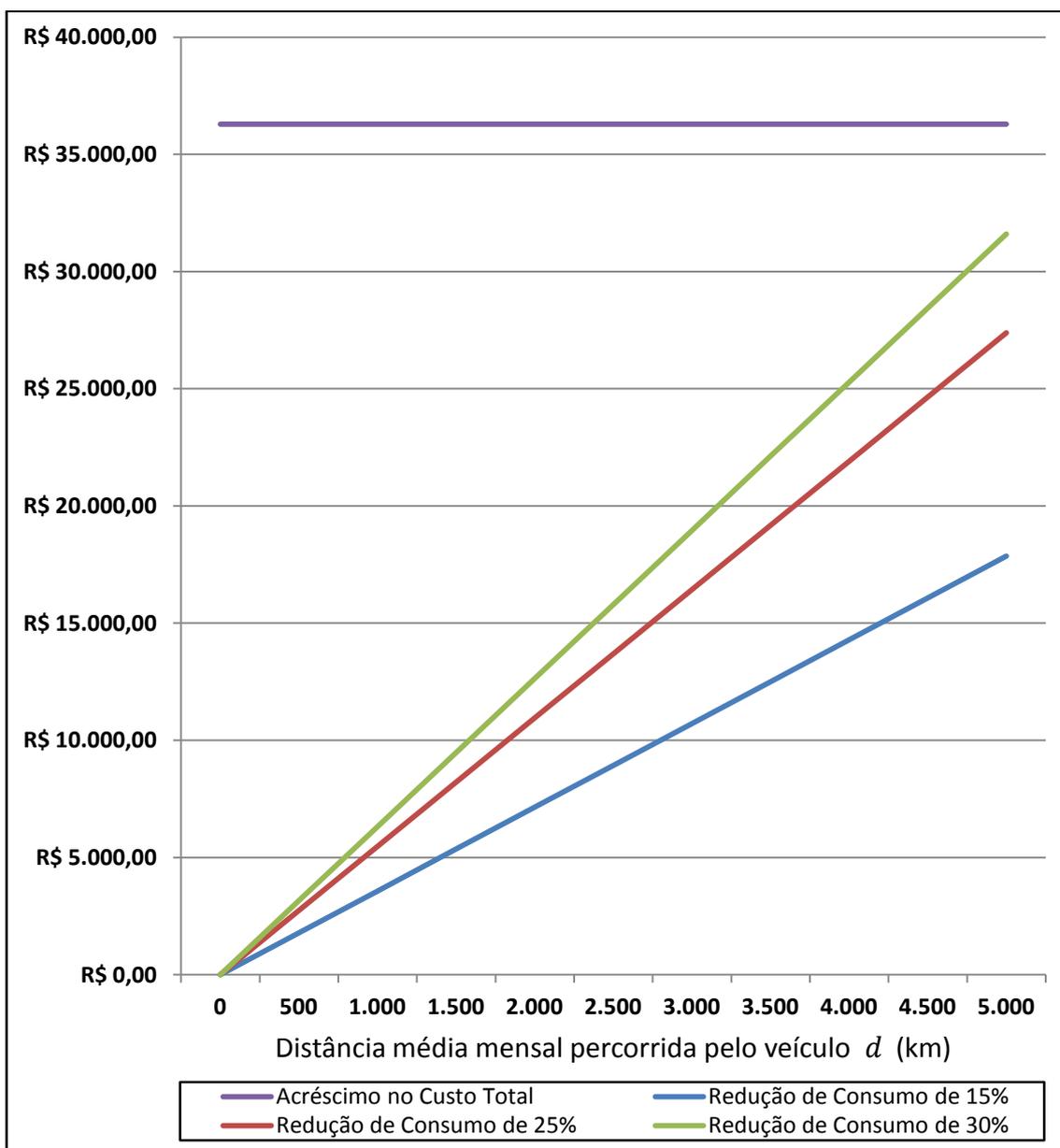


Figura 55: Gráfico de análise da viabilidade financeira para o cenário D.2

Fonte: Elaboração do autor

Como esperado, as linhas de redução total no custo de operação não cruzam com a reta de acréscimo no custo total, pois não há retorno financeiro para o cenário considerado, conforme mostrado na tabela 71.

Considerando a venda de crédito de carbono, os valores das distâncias a partir das quais o sistema híbrido se torna viável, baseando-se no valor do crédito igual a R\$ 8,46, são:

$$\begin{cases} d_{\text{viável}C_{15\%}} = 10.039,90 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{25\%}} = 6.547,76 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{30\%}} = 5.674,72 \text{ km} \end{cases}$$

O gráfico da figura 56 foi construído nos moldes do gráfico da figura 55, porém, considerando-se a venda de crédito de carbono a R\$ 8,46 por tonelada de carbono.

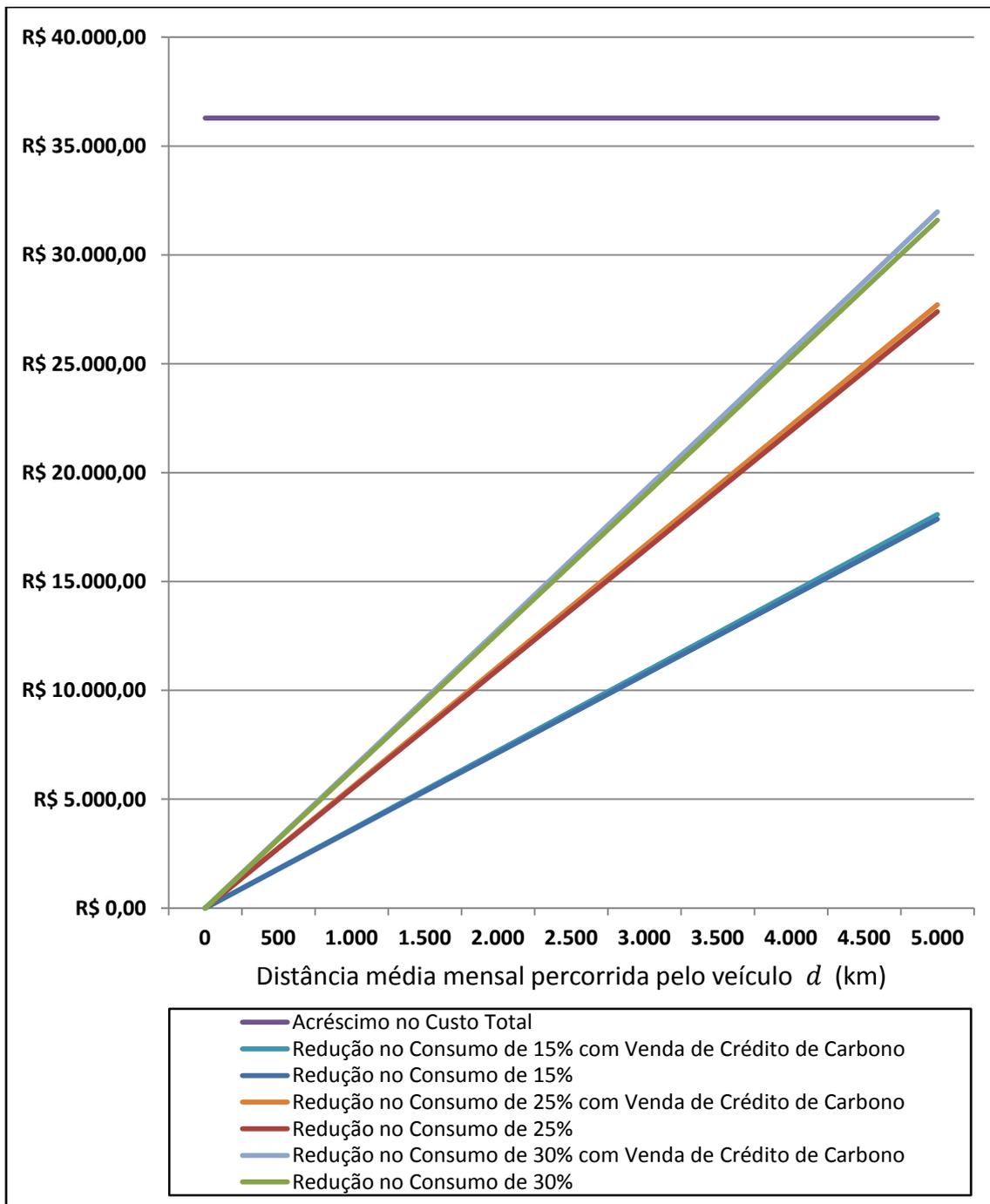
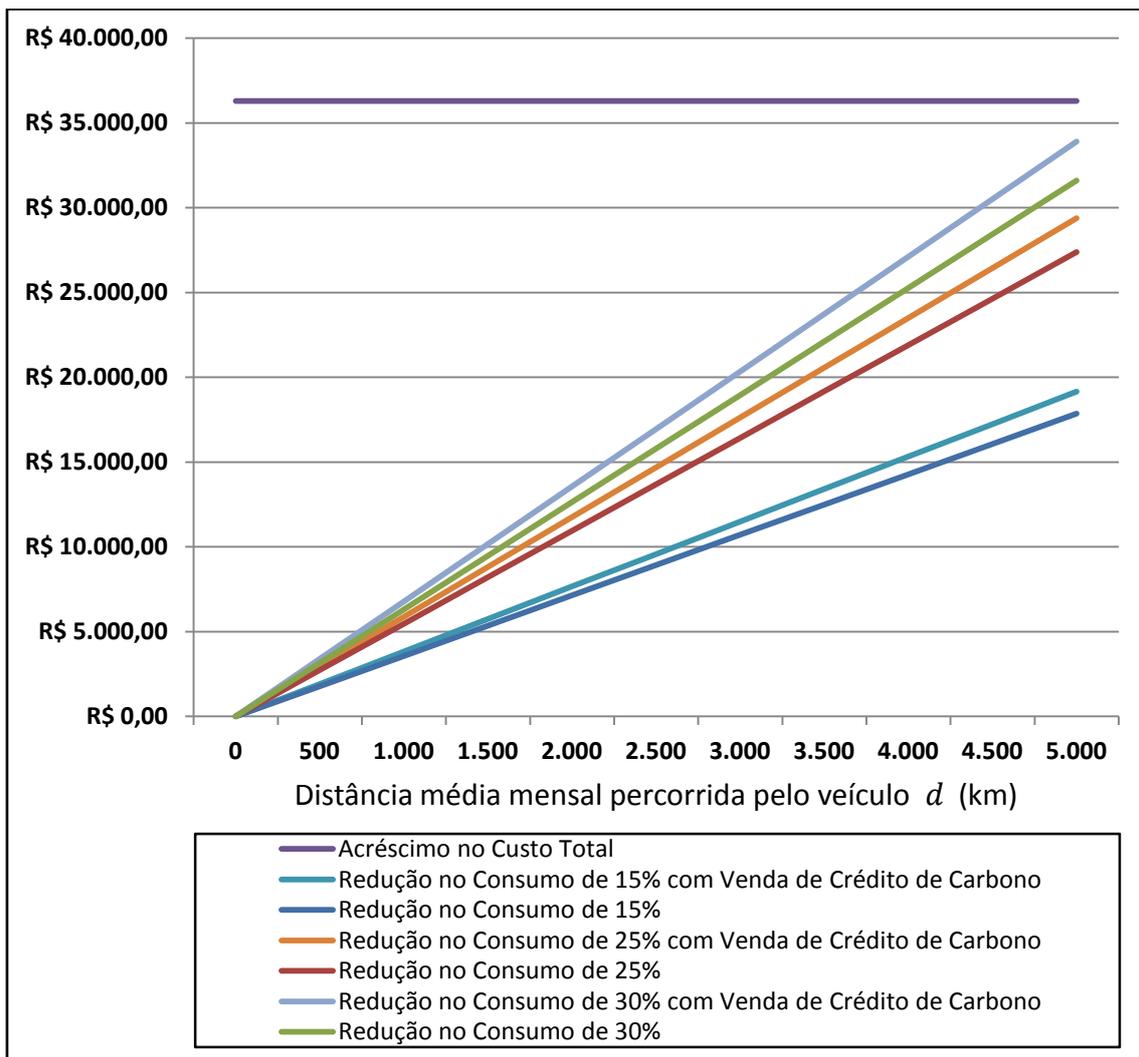


Figura 56: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46  
 Fonte: Elaboração do autor

Tomando-se o valor de R\$ 51,90 para cada tonelada vendida de carbono, obtém-se:

$$\begin{cases} d_{\text{viável}C_{15\%}} = 9.468,47 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{25\%}} = 6.175,09 \text{ km} \\ d_{\text{viável}C_{30\%}} = 5.351,75 \text{ km} \end{cases}$$

Com esse valor do crédito de carbono, constrói-se o gráfico apresentado na figura 51:



**Figura 57: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda de crédito de carbono a R\$ 51,90**

Fonte: Elaboração do autor

Da mesma forma que no gráfico da figura 55, nos gráficos das figuras 56 e 57, as linhas de redução total no custo de operação não cruzam a reta de acréscimo no custo total, visto que não há retorno financeiro, mesmo considerando a venda de crédito de carbono, conforme visto nas tabelas 72 e 73.

#### 4.1.4.1.9. Compilação de resultados para a realidade operacional do veículo

Da tabela 9, extrai-se que a distância média mensal percorrida pelo veículo com compactador de 19 m<sup>3</sup> é de 4.480 km. Assim, para esse valor e considerando-se os procedimentos realizados na aplicação do método para análise financeira, bem como todos os oito cenários abordados anteriormente, são apresentadas na tabela 74 os valores do retorno financeiro obtido com a instalação do sistema híbrido hidráulico.

**Tabela 74: Retorno financeiro**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>R<sub>PB15%</sub></b>	<b>R<sub>PB25%</sub></b>	<b>R<sub>PB30%</sub></b>
A.1	3.854,52	23.609,05	32.346,63
A.2	5.911,78	26.763,51	35.986,40
B.1	-3.933,93	12.204,61	19.342,82
B.2	-2.675,52	14.134,17	21.569,23
C.1	-12.049,29	313,06	5.781,02
C.2	-11.407,77	1.296,72	6.916,01
D.1	-20.505,57	-12.086,71	-8.362,99
D.2	-20.287,53	-11.752,38	-7.977,22

Fonte: Elaboração do autor

Considerando-se a venda de crédito de carbono, são construídas as tabelas 75 e 76, para valores do crédito iguais a R\$ 8,46 e R\$ 51,90, respectivamente.

**Tabela 75: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 8,46</b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>R<sub>PB15%</sub></b>	<b>R<sub>PB25%</sub></b>	<b>R<sub>PB30%</sub></b>
A.1	4.284,76	24.268,75	33.107,82
A.2	6.342,02	27.423,21	36.747,59
B.1	-3.578,13	12.750,17	19.972,30
B.2	-2.319,72	14.679,73	22.198,72
C.1	-11.773,33	736,20	6.269,26
C.2	-11.131,81	1.719,85	7.404,25
D.1	-20.315,24	-11.794,87	-8.026,25
D.2	-20.097,20	-11.460,55	-7.640,49

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 76: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 51,90</b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>R<sub>PB15%</sub></b>	<b>R<sub>PB25%</sub></b>	<b>R<sub>PB30%</sub></b>
A.1	6.493,92	27.656,14	37.016,34
A.2	8.551,18	30.810,60	40.656,11
B.1	-1.751,20	15.551,45	23.204,55
B.2	-492,80	17.481,01	25.430,97
C.1	-10.356,36	2.908,88	8.776,20
C.2	-9.714,84	3.892,54	9.911,19
D.1	-19.337,95	-10.296,36	-6.297,19
D.2	-19.119,91	-9.962,03	-5.911,43

Fonte: Elaboração do autor

Considerando-se a possibilidade de haver alterações na distância média mensal percorrida pelo caminhão de lixo, provocadas por mudanças nas rotas de coleta, frequência de utilização do veículo, demanda pública de coleta de resíduos, entre outros fatores, foram encontrados novos valores para o retorno financeiro, a valor presente, variando-se a distância média mensal percorrida pelo veículo em menos ou mais 5%. Os resultados para uma diminuição de 5% são apresentados nas tabelas 77, 78 e 79.

**Tabela 77: Retorno financeiro**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>R<sub>PB15%</sub></b>	<b>R<sub>PB25%</sub></b>	<b>R<sub>PB30%</sub></b>
A.1	2.002,53	20.769,33	29.070,03
A.2	3.956,93	23.766,08	32.527,82
B.1	-5.446,91	9.884,70	16.665,99
B.2	-4.251,42	11.717,78	18.781,08
C.1	-13.208,26	-1.464,02	3.730,54
C.2	-12.598,82	-529,55	4.808,78
D.1	-21.294,84	-13.296,92	-9.759,38
D.2	-21.087,70	-12.979,31	-9.392,91

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 78: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 8,46</b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>R<sub>PB15%</sub></b>	<b>R<sub>PB25%</sub></b>	<b>R<sub>PB30%</sub></b>
A.1	2.432,77	21.429,03	29.831,23
A.2	4.387,17	24.425,78	33.289,01
B.1	-5.091,12	10.430,25	17.295,48
B.2	-3.895,63	12.263,34	19.410,57
C.1	-12.932,30	-1.040,89	4.218,77
C.2	-12.322,86	-106,42	5.297,01
D.1	-21.104,51	-13.005,08	-9.422,65
D.2	-20.897,37	-12.687,47	-9.056,17

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 79: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 51,90</b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>R<sub>PB15%</sub></b>	<b>R<sub>PB25%</sub></b>	<b>R<sub>PB30%</sub></b>
A.1	4.641,94	24.816,42	33.739,75
A.2	6.596,33	27.813,17	37.197,53
B.1	-3.264,19	13.231,54	20.527,73
B.2	-2.068,70	15.064,62	22.642,82
C.1	-11.515,33	1.131,80	6.725,72
C.2	-10.905,89	2.066,27	7.803,96
D.1	-20.127,21	-11.506,57	-7.693,59
D.2	-19.920,08	-11.188,96	-7.327,11

Fonte: Elaboração do autor

Para um aumento de 5% na distância média mensal percorrida pelo veículo, constroem-se as tabelas 80, 81 e 82.

**Tabela 80: Retorno financeiro**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>R<sub>PB15%</sub></b>	<b>R<sub>PB25%</sub></b>	<b>R<sub>PB30%</sub></b>
A.1	5.706,50	26.448,76	35.623,22
A.2	7.866,63	29.760,95	39.444,98
B.1	-2.420,94	14.524,53	22.019,64
B.2	-1.099,61	16.550,57	24.357,38
C.1	-10.890,32	2.090,15	7.831,51
C.2	-10.216,72	3.122,99	9.023,25
D.1	-19.716,30	-10.876,50	-6.966,59
D.2	-19.487,36	-10.525,46	-6.561,54

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 81: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 8,46</b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>R<sub>PB15%</sub></b>	<b>R<sub>PB25%</sub></b>	<b>R<sub>PB30%</sub></b>
A.1	6.136,74	27.108,46	36.384,41
A.2	8.296,87	30.420,65	40.206,17
B.1	-2.065,14	15.070,08	22.649,13
B.2	-743,81	17.096,12	24.986,86
C.1	-10.614,36	2.513,28	8.319,74
C.2	-9.940,77	3.546,13	9.511,48
D.1	-19.525,97	-10.584,66	-6.629,85
D.2	-19.297,03	-10.233,62	-6.224,80

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 82: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 51,90</b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>R<sub>PB15%</sub></b>	<b>R<sub>PB25%</sub></b>	<b>R<sub>PB30%</sub></b>
A.1	8.345,91	30.495,85	40.292,94
A.2	10.506,03	33.808,04	44.114,70
B.1	-238,22	17.871,37	25.881,38
B.2	1.083,11	19.897,41	28.219,11
C.1	-9.197,39	4.685,97	10.826,69
C.2	-8.523,80	5.718,81	12.018,43
D.1	-18.548,68	-9.086,15	-4.900,80
D.2	-18.319,74	-8.735,10	-4.495,74

Fonte: Elaboração do autor

Do mesmo modo como feito para a variação de 5%, altera-se a distância média mensal percorrida pelo veículo em 10%, para menos e para mais. Os novos valores para o retorno financeiro, a valor presente, diminuindo-se a distância em 10%, são apresentados nas tabelas 83, 84 e 85.

**Tabela 83: Retorno financeiro**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>R<sub>PB15%</sub></b>	<b>R<sub>PB25%</sub></b>	<b>R<sub>PB30%</sub></b>
A.1	150,54	17.929,62	25.793,44
A.2	2.002,08	20.768,64	29.069,24
B.1	-6.959,90	7.564,78	13.989,16
B.2	-5.827,33	9.301,39	15.992,94
C.1	-14.367,23	-3.241,11	1.680,05
C.2	-13.789,86	-2.355,82	2.701,54
D.1	-22.084,11	-14.507,13	-11.155,78
D.2	-21.887,87	-14.206,24	-10.808,59

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 84: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 8,46</b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>R<sub>PB15%</sub></b>	<b>R<sub>PB25%</sub></b>	<b>R<sub>PB30%</sub></b>
A.1	580,78	18.589,32	26.554,63
A.2	2.432,32	21.428,34	29.830,43
B.1	-6.604,11	8.110,34	14.618,65
B.2	-5.471,54	9.846,94	16.622,42
C.1	-14.091,27	-2.817,98	2.168,28
C.2	-13.513,90	-1.932,69	3.189,78
D.1	-21.893,78	-14.215,30	-10.819,04
D.2	-21.697,54	-13.914,40	-10.471,86

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 85: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 51,90</b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>R<sub>PB15%</sub></b>	<b>R<sub>PB25%</sub></b>	<b>R<sub>PB30%</sub></b>
A.1	2.789,95	21.976,71	30.463,16
A.2	4.641,48	24.815,73	33.738,95
B.1	-4.777,18	10.911,62	17.850,90
B.2	-3.644,61	12.648,23	19.854,68
C.1	-12.674,30	-645,29	4.675,23
C.2	-12.096,93	240,00	5.696,72
D.1	-20.916,48	-12.716,78	-9.089,99
D.2	-20.720,25	-12.415,88	-8.742,80

Fonte: Elaboração do autor

Para um aumento de 10% na distância média mensal percorrida pelo veículo, constroem-se as tabelas 86, 87 e 88.

**Tabela 86: Retorno financeiro**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>R<sub>PB15%</sub></b>	<b>R<sub>PB25%</sub></b>	<b>R<sub>PB30%</sub></b>
A.1	7.558,49	29.288,47	38.899,81
A.2	9.821,48	32.758,39	42.903,56
B.1	-907,95	16.844,44	24.696,47
B.2	476,30	18.966,96	27.145,52
C.1	-9.731,35	3.867,24	9.882,00
C.2	-9.025,68	4.949,26	11.130,48
D.1	-18.927,03	-9.666,29	-5.570,19
D.2	-18.687,19	-9.298,53	-5.145,85

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 87: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 8,46</b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>R<sub>PB15%</sub></b>	<b>R<sub>PB25%</sub></b>	<b>R<sub>PB30%</sub></b>
A.1	7.988,73	29.948,17	39.661,00
A.2	10.251,72	33.418,09	43.664,75
B.1	-552,15	17.390,00	25.325,95
B.2	832,10	19.512,52	27.775,01
C.1	-9.455,39	4.290,37	10.370,23
C.2	-8.749,72	5.372,40	11.618,72
D.1	-18.736,70	-9.374,45	-5.233,46
D.2	-18.496,86	-9.006,69	-4.809,12

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 88: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 51,90</b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>R<sub>PB15%</sub></b>	<b>R<sub>PB25%</sub></b>	<b>R<sub>PB30%</sub></b>
A.1	10.197,90	33.335,56	43.569,53
A.2	12.460,88	36.805,48	47.573,28
B.1	1.274,77	20.191,28	28.558,20
B.2	2.659,02	22.313,80	31.007,26
C.1	-8.038,42	6.463,06	12.877,17
C.2	-7.332,75	7.545,08	14.125,66
D.1	-17.759,41	-7.875,94	-3.504,40
D.2	-17.519,57	-7.508,17	-3.080,06

Fonte: Elaboração do autor

#### **4.1.4.2. Veículo com compactador de 15 m<sup>3</sup>**

Para o veículo com compactador de 15 m<sup>3</sup>, aplica-se o método para análise financeira da viabilidade de se introduzir a tecnologia híbrida diesel-hidráulica no mesmo. Diferentemente do que foi feito com o veículo anterior, o procedimento para a apresentação dos resultados será mais resumido e uma parte dos resultados constará do Apêndice I ao Apêndice XIV, especialmente aqueles em que são expostos em tabelas.

Os valores para as variáveis fixas, que serão comuns a todos os cenários elaborados para este tipo de veículo, estão apresentados na tabela 89.

**Tabela 89: Valores das variáveis para veículo com compactador de 15 m<sup>3</sup>**

<b>VARIÁVEL</b>	<b>VALOR</b>
<b>ÍNDICES ECONÔMICOS</b>	
$i_{SELIC}$	7,25%
$i_{inf}$	4,5%
<b>VEÍCULO</b>	
$V_c$	R\$ 143.199,00
$V_{cc}$	R\$ 350.000,00
$VH_{cc}$	R\$ 385.000,00
<b>MANUTENÇÃO</b>	
$CM_{SF}$	R\$ 1.600,00
$CM_{MCE}$	R\$ 13.000,00
$CM_P$	R\$ 7.000,00
$CM_{LF}$	R\$ 6.000,00
$CMH_{SF}$	R\$ 800,00
$CMH_{MCE}$	R\$ 13.000,00
$CMH_P$	R\$ 7.000,00
$CMH_{LF}$	R\$ 6.000,00
<b>OPERAÇÃO</b>	
$e$	1,7
$V_D$	1,85

Fonte: Elaboração do autor

Utilizando-se a equação (18), obtêm-se os valores do consumo de combustível do veículo híbrido, de acordo com a taxa de redução no consumo pré-definida. Dessa forma, tem-se que:

$$\begin{cases} e_{h_{15\%}} = 1,955 \text{ km/l} \\ e_{h_{25\%}} = 2,125 \text{ km/l} \\ e_{h_{25\%}} = 2,210 \text{ km/l} \end{cases}$$

Das equações (16) e (17), encontram-se os valores da quantidade de combustível gasto ( $F$  e  $F_h$ ) para cada veículo padrão e híbrido, respectivamente, por um período de um ano. Considerando-se as distâncias ( $d$ ) previamente definidas, o consumo do veículo padrão e dos híbridos, estes obtidos anteriormente para cada taxa  $i_{cons}$ , tem-se a tabela 90:

**Tabela 90: Consumo de combustível anual dos veículos padrão e híbrido**

<b>CONSUMO DE COMBUSTÍVEL ANUAL</b>					
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$d_{\text{anual}}$ (km)	F (l)	$F_{h_{15\%}}$ (l)	$F_{h_{25\%}}$ (l)	$F_{h_{30\%}}$ (l)
0	0	0	0	0	0
500	6.000	3.529	3.069	2.824	2.715
1.000	12.000	7.059	6.138	5.647	5.430
1.500	18.000	10.588	9.207	8.471	8.145
2.000	24.000	14.118	12.276	11.294	10.860
2.500	30.000	17.647	15.345	14.118	13.575
3.000	36.000	21.176	18.414	16.941	16.290
3.500	42.000	24.706	21.483	19.765	19.005
4.000	48.000	28.235	24.552	22.588	21.719
4.500	54.000	31.765	27.621	25.412	24.434
5.000	60.000	35.294	30.691	28.235	27.149

Fonte: Elaboração do autor

Da equação (19), calcula-se a redução na quantidade de combustível gasto ( $\Delta F$ ). Os valores estão expressos na tabela 91.

**Tabela 91: Redução no consumo de combustível anual dos veículos padrão e híbrido**

<b>REDUÇÃO NO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL ANUAL</b>				
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$d_{\text{anual}}$ (km)	$\Delta F_{15\%}$ (l)	$\Delta F_{25\%}$ (l)	$\Delta F_{30\%}$ (l)
0	0	0	0	0
500	6.000	460	706	814
1.000	12.000	921	1.412	1.629
1.500	18.000	1.381	2.118	2.443
2.000	24.000	1.841	2.824	3.258
2.500	30.000	2.302	3.529	4.072
3.000	36.000	2.762	4.235	4.887
3.500	42.000	3.223	4.941	5.701
4.000	48.000	3.683	5.647	6.516
4.500	54.000	4.143	6.353	7.330
5.000	60.000	4.604	7.059	8.145

Fonte: Elaboração do autor

A redução no custo de operação do veículo híbrido, para  $i_{\text{cons}} = 15, 25$  e  $30\%$ , variando-se o valor da distância média mensal percorrida pelo veículo, para cada um dos anos do período de tempo T, é encontrada aplicando-se as equações (22) e (23). Os resultados foram obtidos para taxas de aumento anual do preço do óleo diesel iguais a 2,7 e 5,6% e são apresentados nos Apêndices I e II, respectivamente.

A redução no consumo de combustível gera, como consequência, uma redução na emissão de CO<sub>2</sub>, conforme exposto no item 4.1.3.5. Assim, tomando-se os resultados da tabela 91 e introduzindo-os na equação (27), são encontrados os valores de redução da emissão de CO<sub>2</sub>.

**Tabela 92: Redução da emissão de CO<sub>2</sub>**

<b>REDUÇÃO DA EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> (kg)</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$G_{C15\%}$	$G_{C25\%}$	$G_{C30\%}$
0	0	0	0
500	1.230	1.885	2.175
1.000	2.459	3.771	4.351
1.500	3.689	5.656	6.526
2.000	4.918	7.542	8.702
2.500	6.148	9.427	10.877
3.000	7.378	11.312	13.053
3.500	8.607	13.198	15.228
4.000	9.837	15.083	17.404
4.500	11.067	16.969	19.579
5.000	12.296	18.854	21.755

Fonte: Elaboração do autor

Pela equação (29), considerando-se os valores do crédito de carbono como R\$ 8,46 e R\$ 51,90, tal como foi definido no item 4.1.3.5, tem-se as tabelas 93 e 94.

**Tabela 93: Lucro da venda de crédito de carbono ( $Z_C = R\$ 8,46$ )**

<b>LUCRO ANUAL DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO (<math>Z_C = R\\$ 8,46</math>)</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$L_{C15\%}$	$L_{C25\%}$	$L_{C30\%}$
0	0	0	0
500	10,40	15,95	18,40
1.000	20,81	31,90	36,81
1.500	31,21	47,85	55,21
2.000	41,61	63,80	73,62
2.500	52,01	79,75	92,02
3.000	62,42	95,70	110,43
3.500	72,82	111,65	128,83
4.000	83,22	127,60	147,24
4.500	93,62	143,56	165,64
5.000	104,03	159,51	184,05

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 94: Lucro da venda de crédito de carbono ( $Z_C = R\$ 51,90$ )**  
**LUCRO ANUAL DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO ( $Z_C = R\$ 51,90$ )**

$d_{\text{mensal}}$ (km)	$L_{C15\%}$	$L_{C25\%}$	$L_{C30\%}$
0	0	0	0
500	63,82	97,85	112,91
1.000	127,63	195,71	225,81
1.500	191,45	293,56	338,72
2.000	255,27	391,41	451,63
2.500	319,09	489,26	564,54
3.000	382,90	587,12	677,44
3.500	446,72	684,97	790,35
4.000	510,54	782,82	903,26
4.500	574,35	880,68	1.016,16
5.000	638,17	978,53	1.129,07

Fonte: Elaboração do autor

Todos os resultados apresentados anteriormente serão utilizados em todos os cenários para o veículo com compactador de 15 m<sup>3</sup> e se referem a um único veículo. Conforme será visto, a variação do tempo de renovação da frota e da taxa de aumento anual do preço do óleo diesel causará impacto nos custos de operação e, conseqüentemente, no retorno financeiro.

Aplicando-se o método para análise financeira, seguindo o mesmo procedimento realizado para o veículo com compactador de 19 m<sup>3</sup> e utilizando-se os mesmos cenários, são encontradas as distâncias a partir das quais a introdução da tecnologia híbrida diesel-hidráulica em um veículo de coleta de resíduos é viável, para cada cenário considerado. Serão apresentados, também, os gráficos que auxiliam na visualização da viabilidade do sistema híbrido, com curvas de redução total no custo de operação e acréscimo no custo total devido à aquisição desse sistema.

Para os cenários com mesma letra (A, B, C ou D), os valores de variáveis que independem da distância percorrida, relativas ao veículo e à manutenção, estão expressos nas tabelas 95, 96, 97 e 98, respeitando-se todas as considerações feitas anteriormente.

**Tabela 95: Resultados calculados pela aplicação do método no cenário A.1 e A.2**

<b>VARIÁVEL</b>	<b>VALOR</b>
<b>VEÍCULO</b>	
$V_r$	R\$ 73.995,07
$VH_r$	R\$ 73.995,07
$CC_{VP}$	R\$ 276.004,93
$CCH_{VP}$	R\$ 311.004,93
$\Delta CC_{VP}$	R\$ 35.000,00
$\Delta CR_{VP}$	R\$ 31.456,82
$i_r$	0,30 (30%)
<b>MANUTENÇÃO</b>	
CM	R\$ 27.600,00
CMH	R\$ 26.800,00
$CM_{VP}$	R\$ 122.239,83
$CMH_{VP}$	R\$ 118.696,65
$\Delta CM_{VP}$	R\$ 3.543,18

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 96: Resultados calculados pela aplicação do método no cenário B.1 e B.2**

<b>VARIÁVEL</b>	<b>VALOR</b>
<b>VEÍCULO</b>	
$V_r$	R\$ 83.116,07
$VH_r$	R\$ 83.116,07
$CC_{VP}$	R\$ 266.883,93
$CCH_{VP}$	R\$ 301.883,93
$\Delta CC_{VP}$	R\$ 35.000,00
$\Delta CR_{VP}$	R\$ 32.129,12
$i_r$	0,3142 (31,42%)
<b>MANUTENÇÃO</b>	
CM	R\$ 27.600,00
CMH	R\$ 26.800,00
$CM_{VP}$	R\$ 99.045,19
$CMH_{VP}$	R\$ 96.174,31
$\Delta CM_{VP}$	R\$ 2.870,88

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 97: Resultados calculados pela aplicação do método no cenário C.1 e C.2**

VARIÁVEL	VALOR
<b>VEÍCULO</b>	
$V_r$	R\$ 93.426,03
$VH_r$	R\$ 93.426,03
$CC_{VP}$	R\$ 256.573,97
$CCH_{VP}$	R\$ 291.573,97
$\Delta CC_{VP}$	R\$ 35.000,00
$\Delta CR_{VP}$	R\$ 32.819,13
$i_r$	0,3293 (32,93%)
<b>MANUTENÇÃO</b>	
CM	R\$ 27.600,00
CMH	R\$ 26.800,00
$CM_{VP}$	R\$ 75.240,16
$CMH_{VP}$	R\$ 73.059,28
$\Delta CM_{VP}$	R\$ 2.180,87

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 98: Resultados calculados pela aplicação do método no cenário D.1 e D.2**

VARIÁVEL	VALOR
<b>VEÍCULO</b>	
$V_r$	R\$ 103.546,49
$VH_r$	R\$ 103.546,49
$CC_{VP}$	R\$ 246.453,51
$CCH_{VP}$	R\$ 281.453,51
$\Delta CC_{VP}$	R\$ 35.000,00
$\Delta CR_{VP}$	R\$ 33.527,28
$i_r$	0,3403 (34,03%)
<b>MANUTENÇÃO</b>	
CM	R\$ 27.600,00
CMH	R\$ 26.800,00
$CM_{VP}$	R\$ 50.808,68
$CMH_{VP}$	R\$ 49.335,96
$\Delta CM_{VP}$	R\$ 1.472,72

Fonte: Elaboração do autor

Seguindo os passos definidos pelo método, encontra-se a redução no custo de operação para o veículo híbrido a partir da quantidade de combustível economizada. Depois, calcula-se a redução total desse custo, a valor presente, para cada taxa  $i_{cons}$ .

De posse do acréscimo no custo total devido à aquisição do sistema híbrido e do último resultado, obtém-se o retorno financeiro por veículo, a valor presente. E com o lucro anual da venda de crédito de carbono, determina-se o lucro total, a valor presente, alcançado com essa operação. Assim, consegue-se calcular o retorno financeiro resultante, incluindo-se este lucro obtido.

Todos esses resultados servem de base para o cálculo das distâncias viáveis e para a construção dos gráficos, sendo apresentados em tabelas nos Apêndices III ao XIV.

#### 4.1.4.2.1. Cenário A.1: $T = 5$ anos e $i_D = 0,027$ (2,7%)

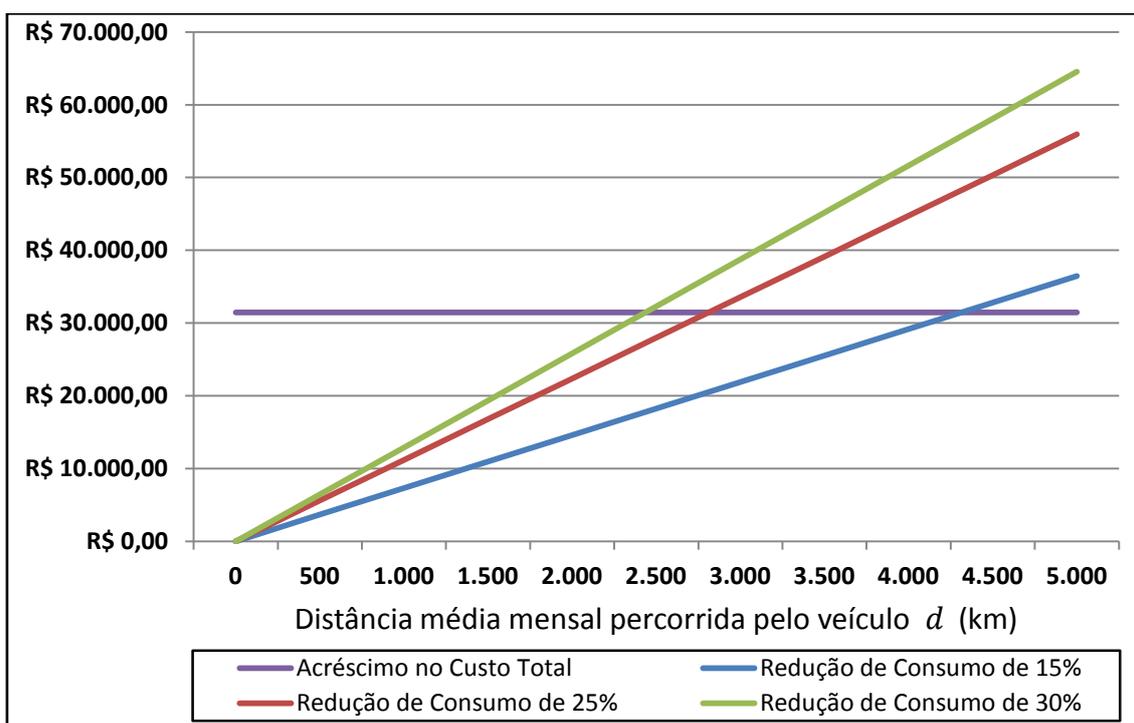
Para este cenário, os valores das distâncias, a partir das quais a introdução da tecnologia híbrida diesel-hidráulica em um veículo de coleta de resíduos é viável, estão apresentadas na tabela 99.

**Tabela 99: Valores de distância viável para a introdução do sistema híbrido – cenário A.1**

CRÉDITO DE CARBONO		DISTÂNCIA VIÁVEL		
VENDA	VALOR DO CRÉDITO	$i_{\text{cons}} = 15\%$	$i_{\text{cons}} = 25\%$	$i_{\text{cons}} = 30\%$
NÃO	-	4.312,04 km	2.812,20 km	2.437,24 km
SIM	R\$ 8,46	4.262,53 km	2.779,91 km	2.409,25 km
SIM	R\$ 51,90	4.025,21 km	2.625,13 km	2.275,12 km

Fonte: Elaboração do autor

Com base na tabela de redução total no custo de operação do veículo, constante do Apêndice IV, e no acréscimo no custo total devido à aquisição do sistema híbrido, constrói-se o gráfico da figura 58.

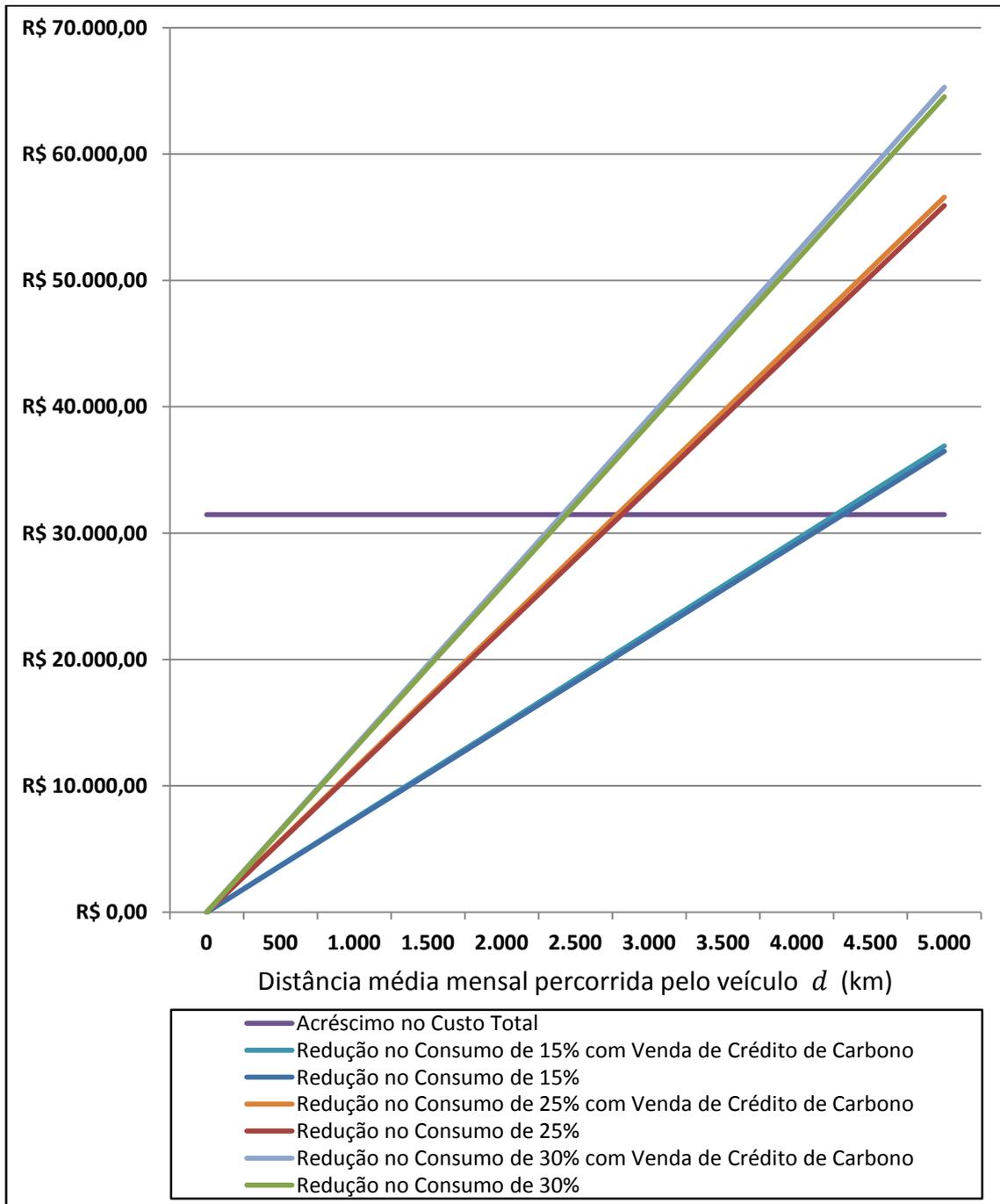


**Figura 58: Gráfico de análise da viabilidade financeira para o cenário A.1**

Fonte: Elaboração do autor

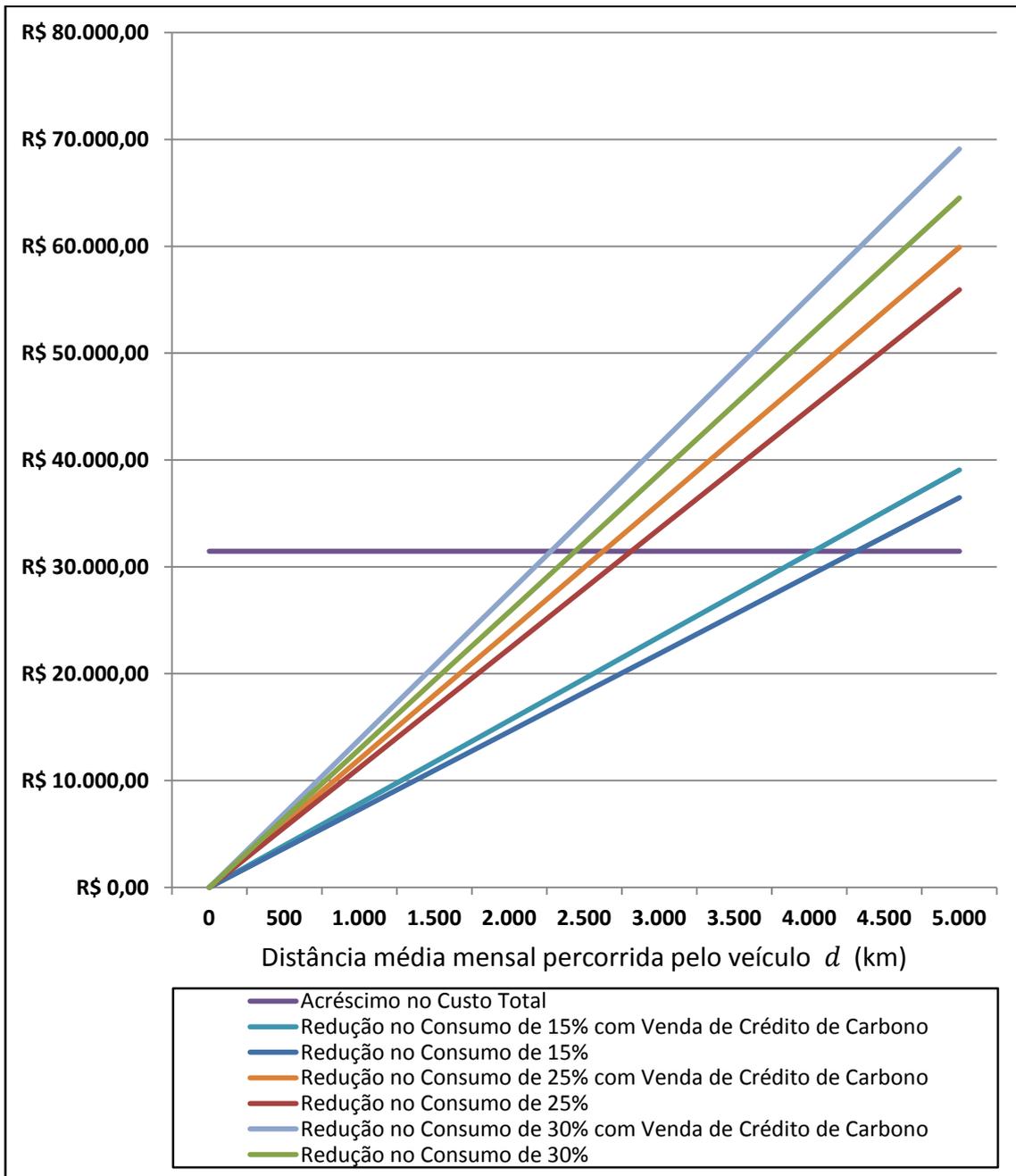
No gráfico, os pontos onde as linhas de redução total no custo de operação cruzam a reta de acréscimo no custo total determinam os valores encontrados anteriormente para as distâncias a partir das quais o sistema híbrido é viável.

O gráfico da figura 59 foi construído nos moldes do gráfico da figura 58, porém, considerando-se a venda de crédito de carbono a R\$ 8,46 por tonelada de carbono.



**Figura 59: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**  
 Fonte: Elaboração do autor

Com o valor do crédito de carbono de R\$ 51,90, constrói-se o gráfico apresentado na figura 60:



**Figura 60: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

Fonte: Elaboração do autor

Da mesma forma que no gráfico da figura 58, nos gráficos das figuras 59 e 60, os pontos onde as linhas de redução total no custo de operação cruzam a reta de acréscimo no custo total determinam os valores encontrados anteriormente para as distâncias, com ou sem a venda de crédito de carbono, a partir das quais o sistema híbrido é viável.

#### 4.1.4.2.2. Cenário A.2: T = 5 anos e $i_D = 0,056$ (5,6%)

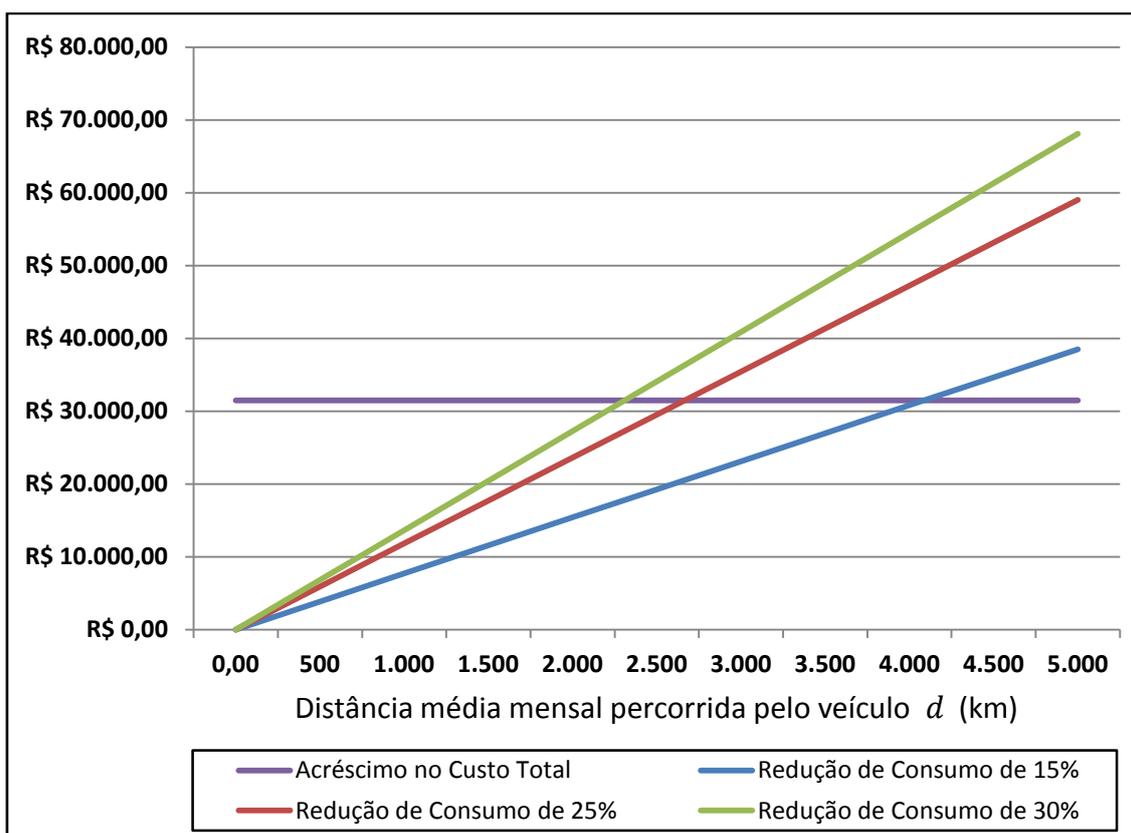
Para este cenário, os valores das distâncias, a partir das quais a introdução da tecnologia híbrida diesel-hidráulica em um veículo de coleta de resíduos é viável, estão apresentadas na tabela 100.

**Tabela 100: Valores de distância viável para a introdução do sistema híbrido – cenário A.2**

CRÉDITO DE CARBONO		DISTÂNCIA VIÁVEL		
VENDA	VALOR DO CRÉDITO	$i_{\text{cons}} = 15\%$	$i_{\text{cons}} = 25\%$	$i_{\text{cons}} = 30\%$
NÃO	-	4.085,14 km	2.664,22 km	2.308,99 km
SIM	R\$ 8,46	4.040,68 km	2.635,22 km	2.283,86 km
SIM	R\$ 51,90	3.826,80 km	2.495,74 km	2.162,97 km

Fonte: Elaboração do autor

Essas distâncias são representadas no gráfico da figura 61 pelos pontos onde as retas, que indicam a redução total no custo de operação (curvas lineares de cores verde, vermelha e azul), cruzam a linha de acréscimo no custo total devido à aquisição do sistema híbrido, ilustrada por uma reta paralela ao eixo das abscissas, na cor roxa.



**Figura 61 - Gráfico de análise da viabilidade financeira para o cenário A.2**

Fonte: Elaboração do autor

O gráfico da figura 62 foi construído nos moldes do gráfico da figura 61, porém, considerando-se a venda de crédito de carbono a R\$ 8,46 por tonelada de carbono.

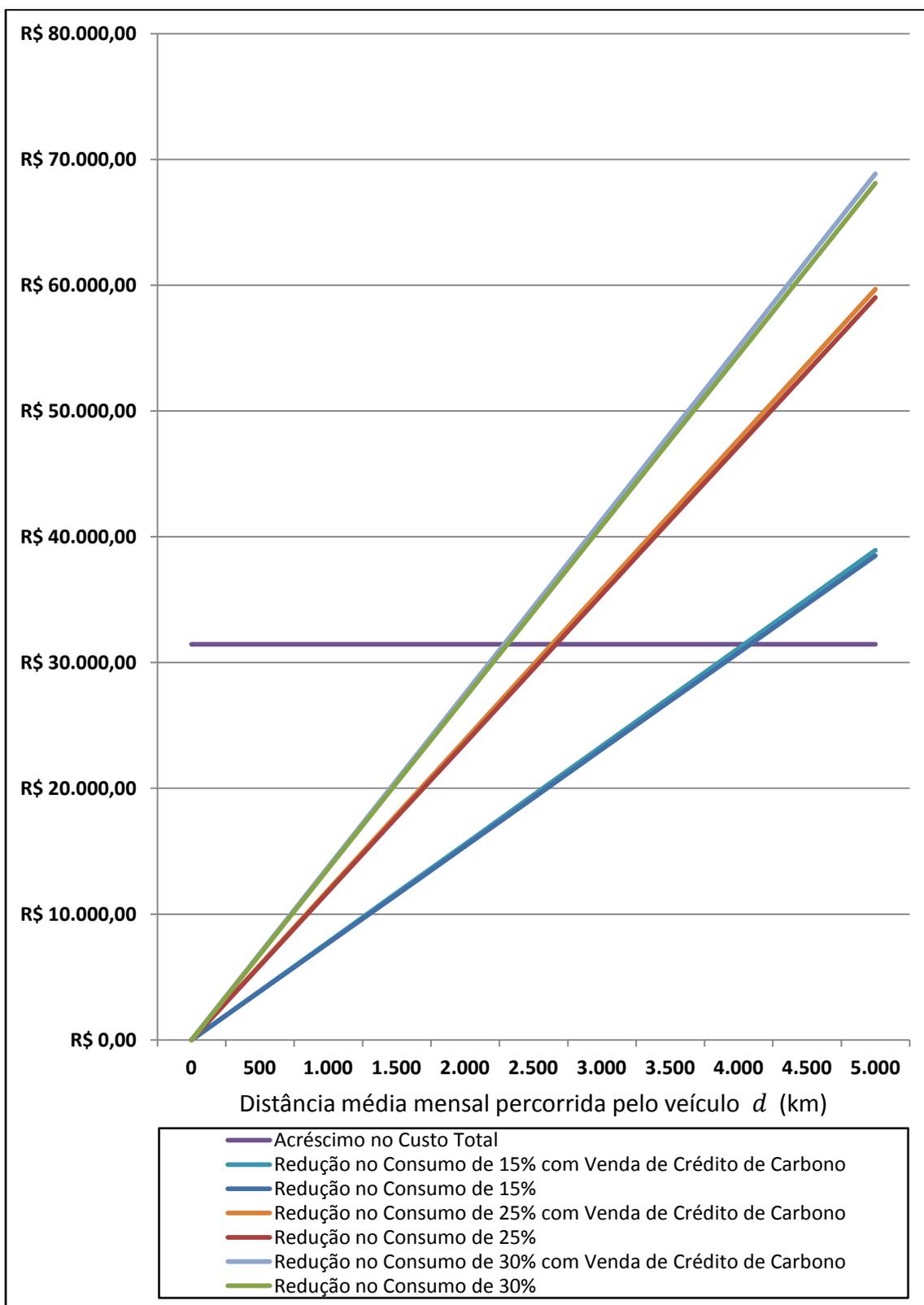
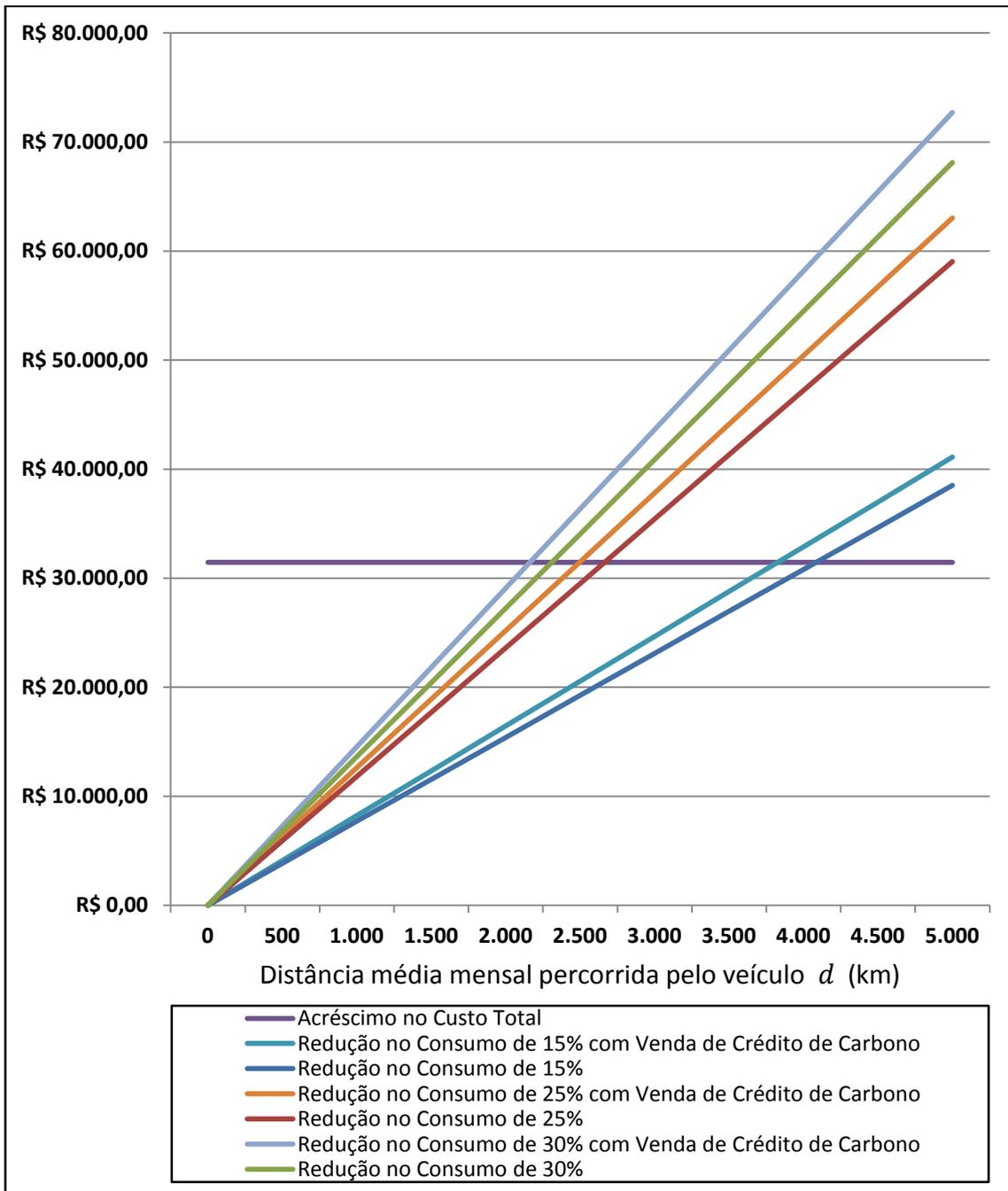


Figura 62: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46  
 Fonte: Elaboração do autor

Com o valor do crédito de carbono de R\$ 51,90, constrói-se o gráfico apresentado na figura 63:



**Figura 63: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda de crédito de carbono a R\$ 51,90**

Fonte: Elaboração do autor

Da mesma forma que no gráfico da figura 61, nos gráficos das figuras 62 e 63, os pontos onde as linhas de redução total no custo de operação cruzam a reta de acréscimo no custo total determinam os valores encontrados anteriormente para as distâncias, com ou sem a venda de crédito de carbono, a partir das quais o sistema híbrido é viável.

#### 4.1.4.2.3. Cenário B.1: T = 4 anos e $i_D = 0,027$ (2,7%)

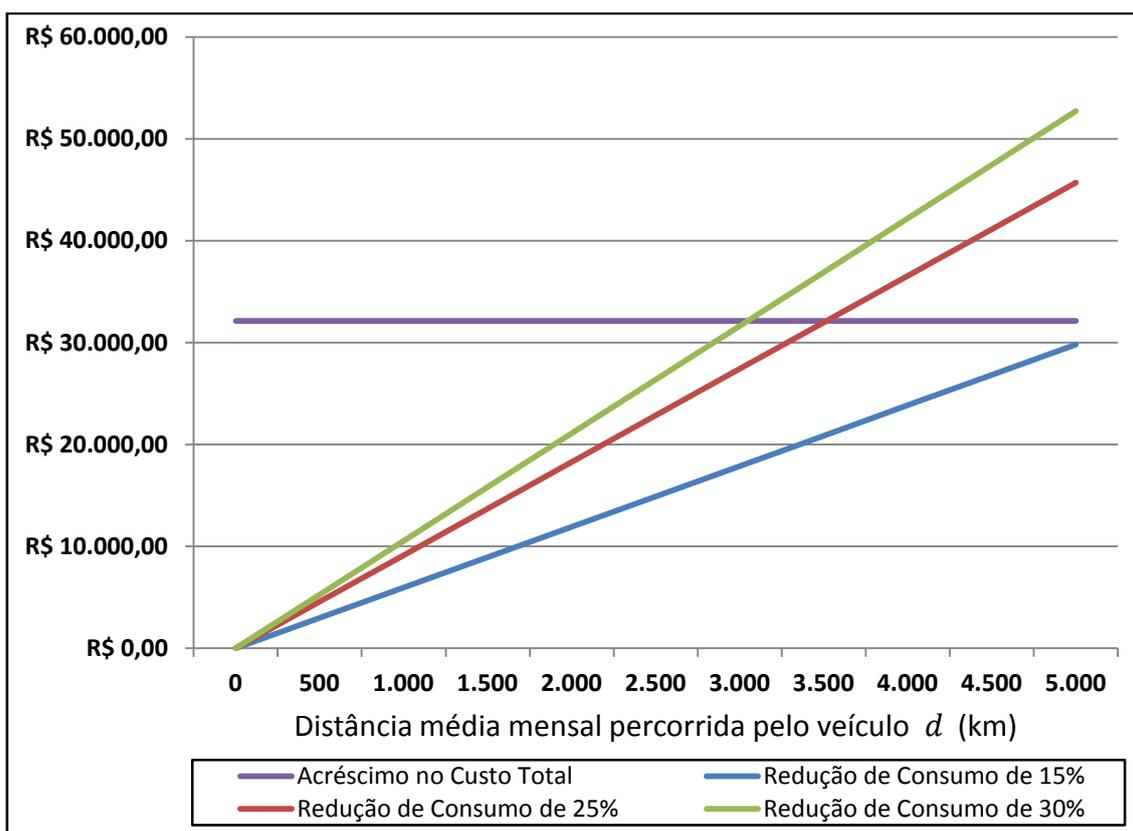
Para este cenário, os valores das distâncias, a partir das quais a introdução da tecnologia híbrida diesel-hidráulica em um veículo de coleta de resíduos é viável, estão apresentadas na tabela 101.

**Tabela 101: Valores de distância viável para a introdução do sistema híbrido – cenário B.1**

CRÉDITO DE CARBONO		DISTÂNCIA VIÁVEL		
VENDA	VALOR DO CRÉDITO	$i_{\text{cons}} = 15\%$	$i_{\text{cons}} = 25\%$	$i_{\text{cons}} = 30\%$
NÃO	-	5.391,00 km	3.515,87 km	3.047,09 km
SIM	R\$ 8,46	5.328,35 km	3.475,01 km	3.011,67 km
SIM	R\$ 51,90	5.028,29 km	3.279,32 km	2.842,08 km

Fonte: Elaboração do autor

Com o mesmo procedimento realizado no cenário A.1, tomando-se por base a tabela de redução total no custo de operação do veículo, constante do Apêndice VII, considerando-se o acréscimo no custo total devido à aquisição do sistema híbrido, constrói-se o gráfico da figura 64.

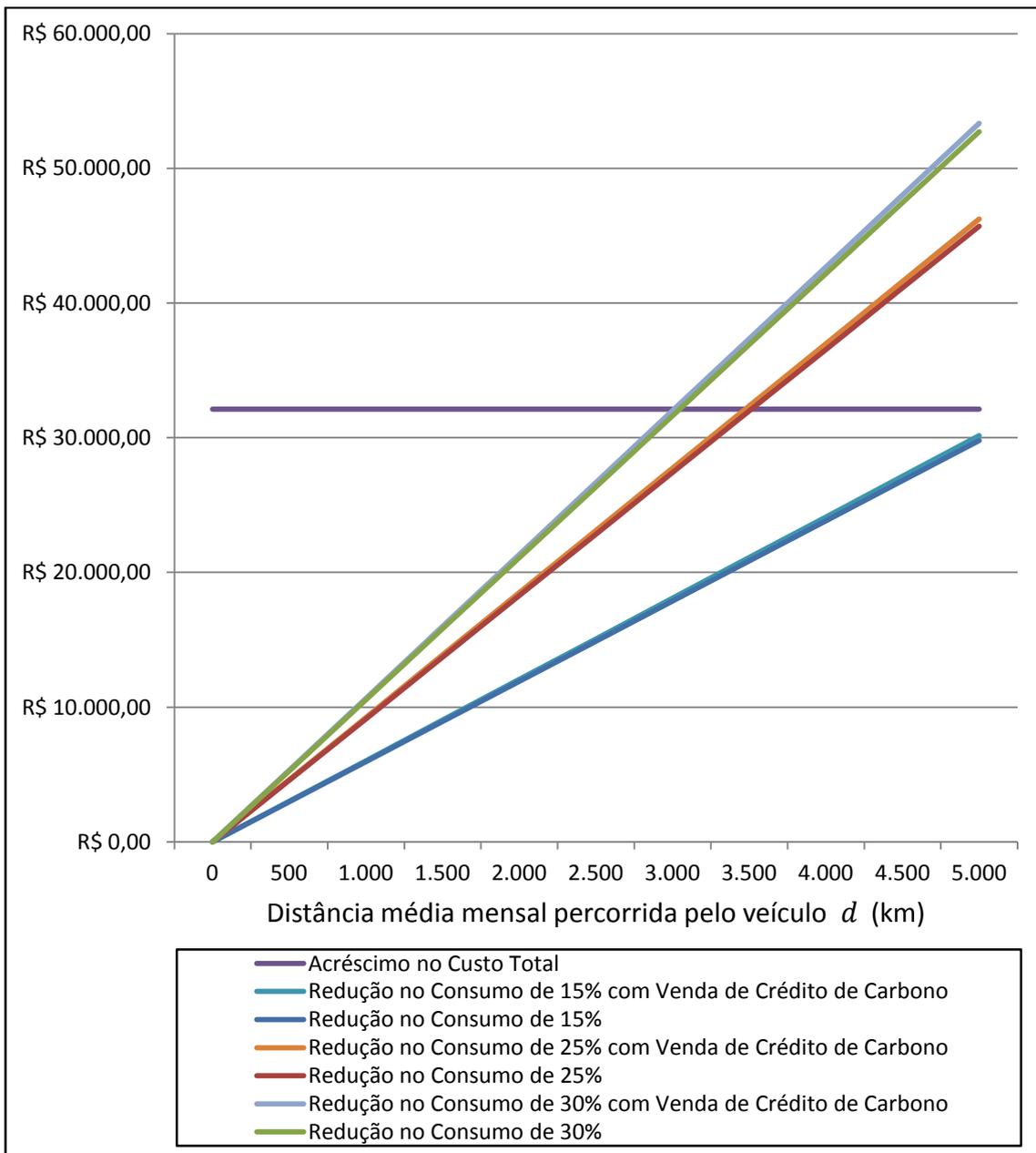


**Figura 64: Gráfico de análise da viabilidade financeira para o cenário B.1**

Fonte: Elaboração do autor

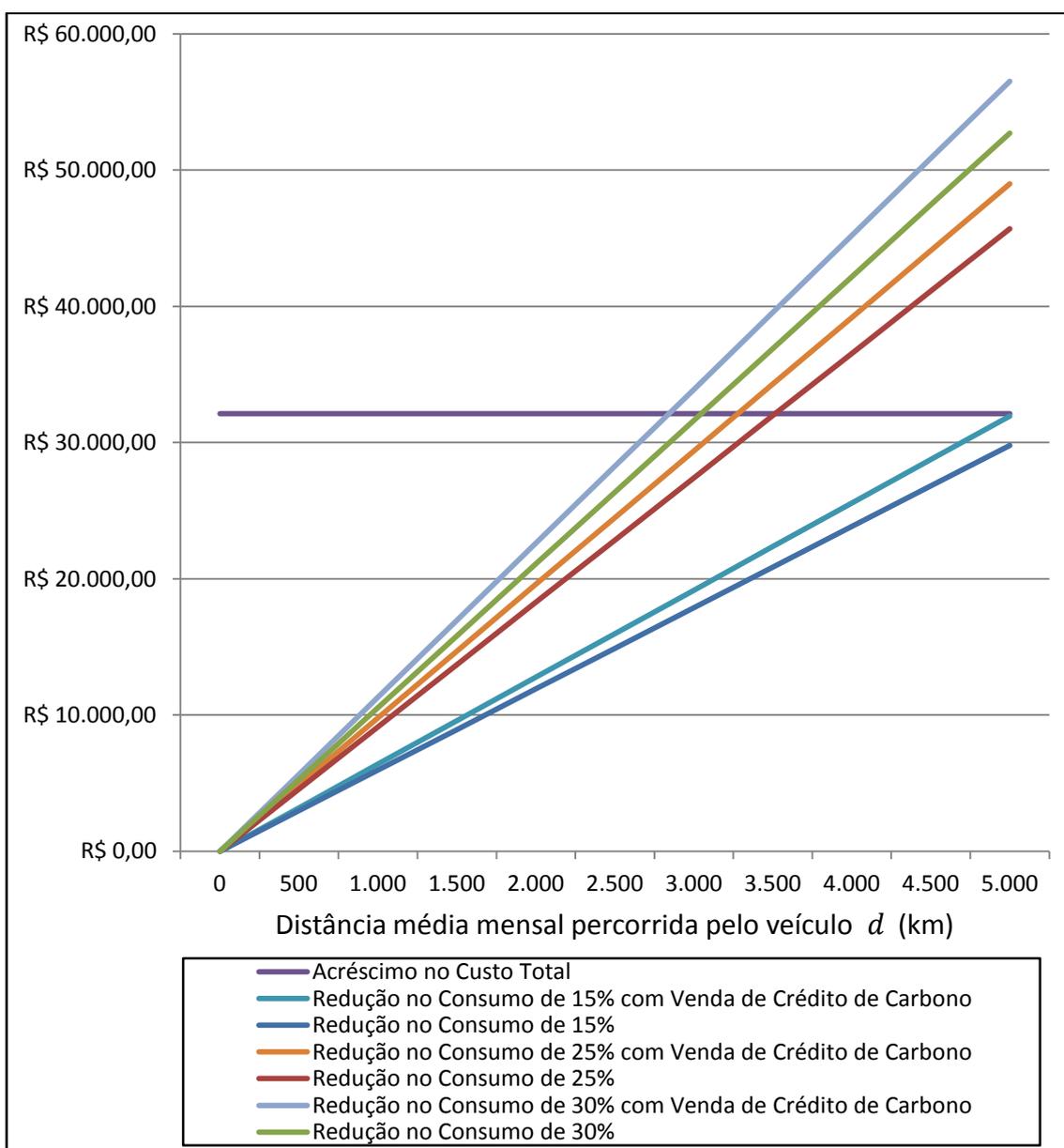
No gráfico, os pontos onde as linhas de redução total no custo de operação cruzam a reta de acréscimo no custo total determinam os valores encontrados anteriormente para as distâncias a partir das quais a introdução do sistema híbrido no veículo é viável. O não cruzamento indica que não há uma distância mínima em que o sistema é viável no intervalo de distâncias considerado.

O gráfico da figura 65 foi construído nos moldes do gráfico da figura 64, porém, considerando-se a venda de crédito de carbono a R\$ 8,46 por tonelada de carbono.



**Figura 65: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**  
 Fonte: Elaboração do autor

Com o valor do crédito de carbono de R\$ 51,90, constrói-se o gráfico apresentado na figura 66:



**Figura 66 - Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

Fonte: Elaboração do autor

Da mesma forma que no gráfico da figura 64, nos gráficos das figuras 65 e 66, os pontos onde as linhas de redução total no custo de operação cruzam a reta de acréscimo no custo total determinam os valores encontrados anteriormente para as distâncias, com ou sem a venda de crédito de carbono, a partir das quais o sistema híbrido é viável. E, ainda, para a linha de redução no consumo de 15% não há uma distância mínima em que o sistema é viável no intervalo de distâncias considerado.

#### 4.1.4.2.4. Cenário B.2: T = 4 anos e $i_D = 0,056$ (5,6%)

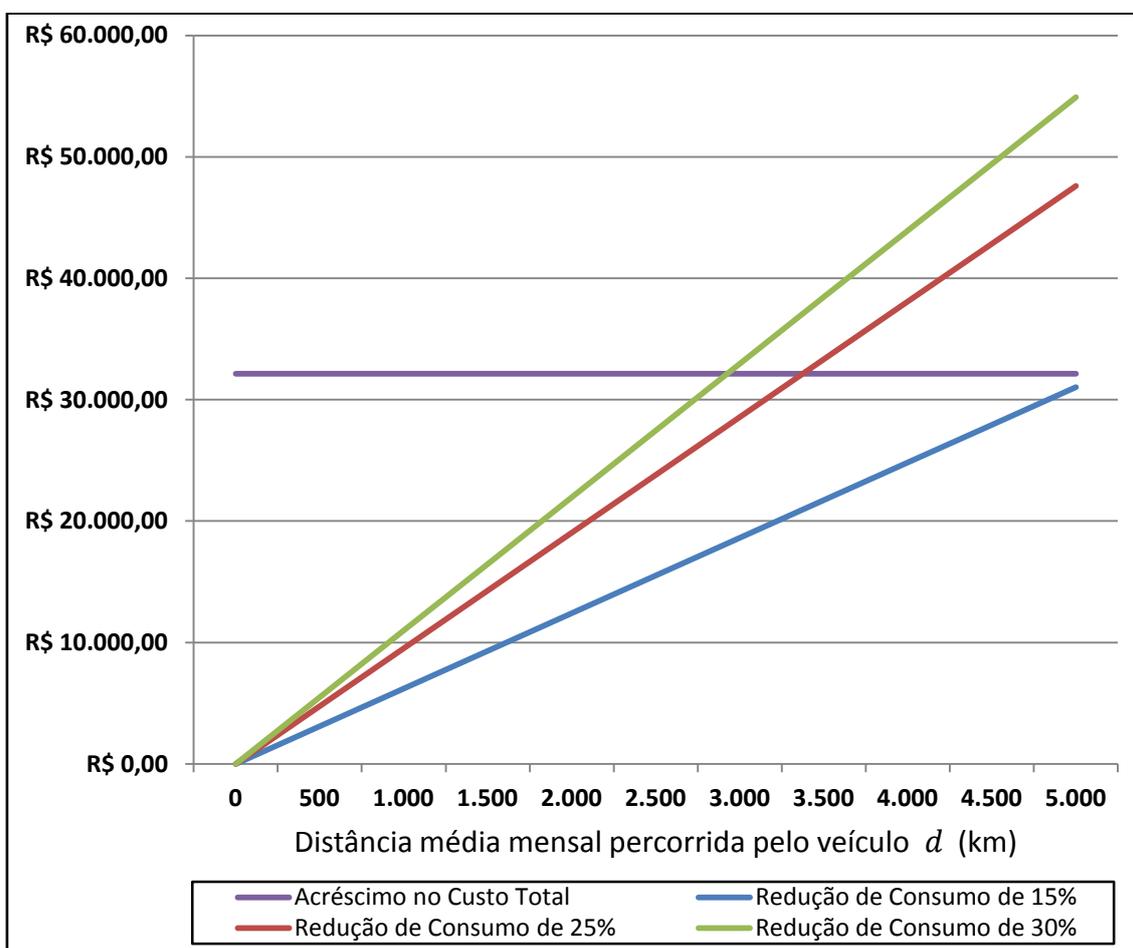
Para este cenário, os valores das distâncias, a partir das quais a introdução da tecnologia híbrida diesel-hidráulica em um veículo de coleta de resíduos é viável, estão apresentadas na tabela 102.

**Tabela 102: Valores de distância viável para a introdução do sistema híbrido – cenário B.2**

CRÉDITO DE CARBONO		DISTÂNCIA VIÁVEL		
VENDA	VALOR DO CRÉDITO	$i_{\text{cons}} = 15\%$	$i_{\text{cons}} = 25\%$	$i_{\text{cons}} = 30\%$
NÃO	-	5.175,75 km	3.375,49 km	2.925,43 km
SIM	R\$ 8,46	5.117,98 km	3.337,81 km	2.892,77 km
SIM	R\$ 51,90	4.840,53 km	3.156,87 km	2.735,95 km

Fonte: Elaboração do autor

Do mesmo modo como foi feito no cenário A.2, representam-se essas distâncias no gráfico da figura 67.



**Figura 67: Gráfico de análise da viabilidade financeira para o cenário B.2**

Fonte: Elaboração do autor

O gráfico da figura 68 foi construído nos moldes do gráfico da figura 67, porém, considerando-se a venda de crédito de carbono a R\$ 8,46 por tonelada de carbono.

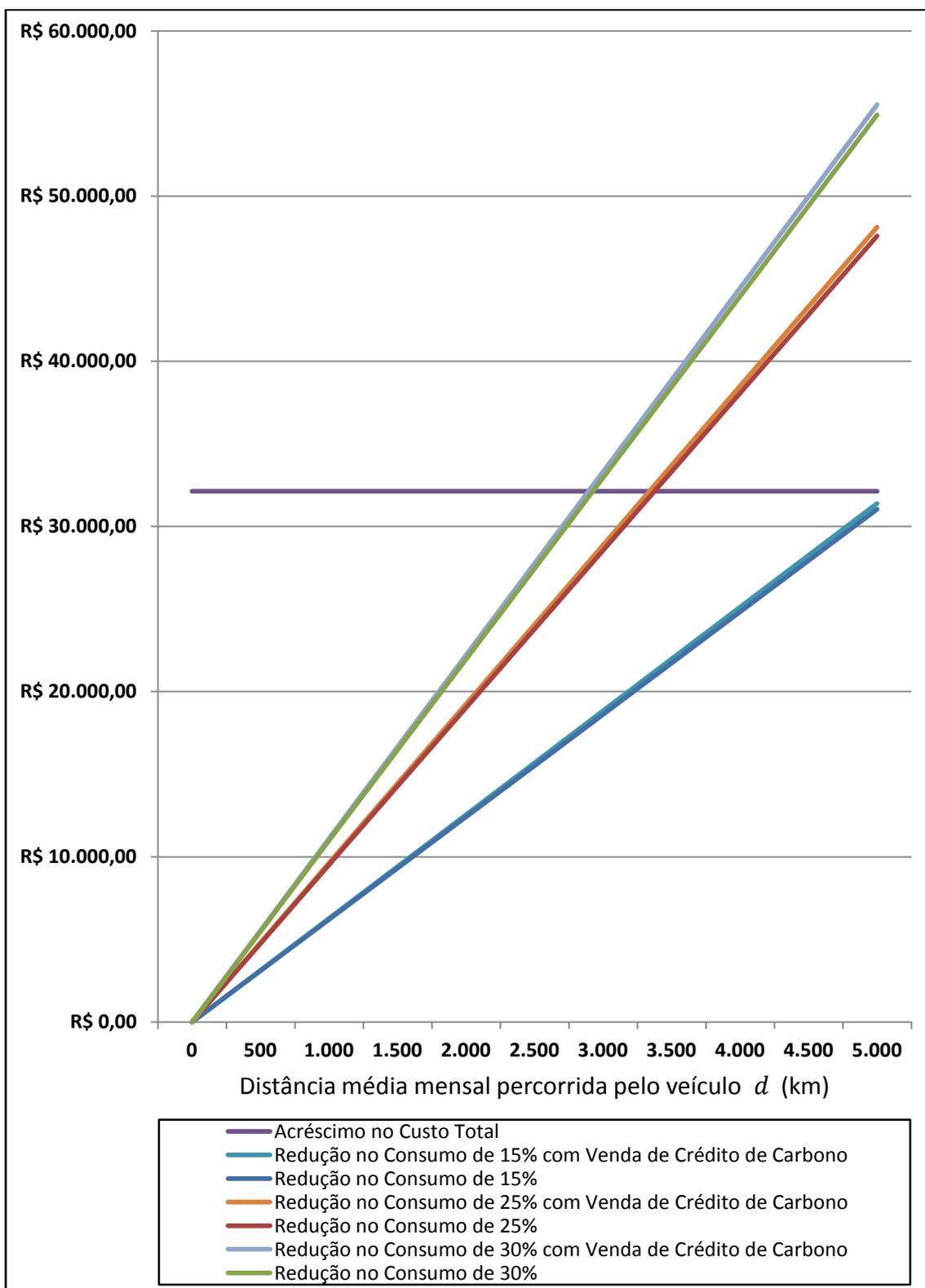
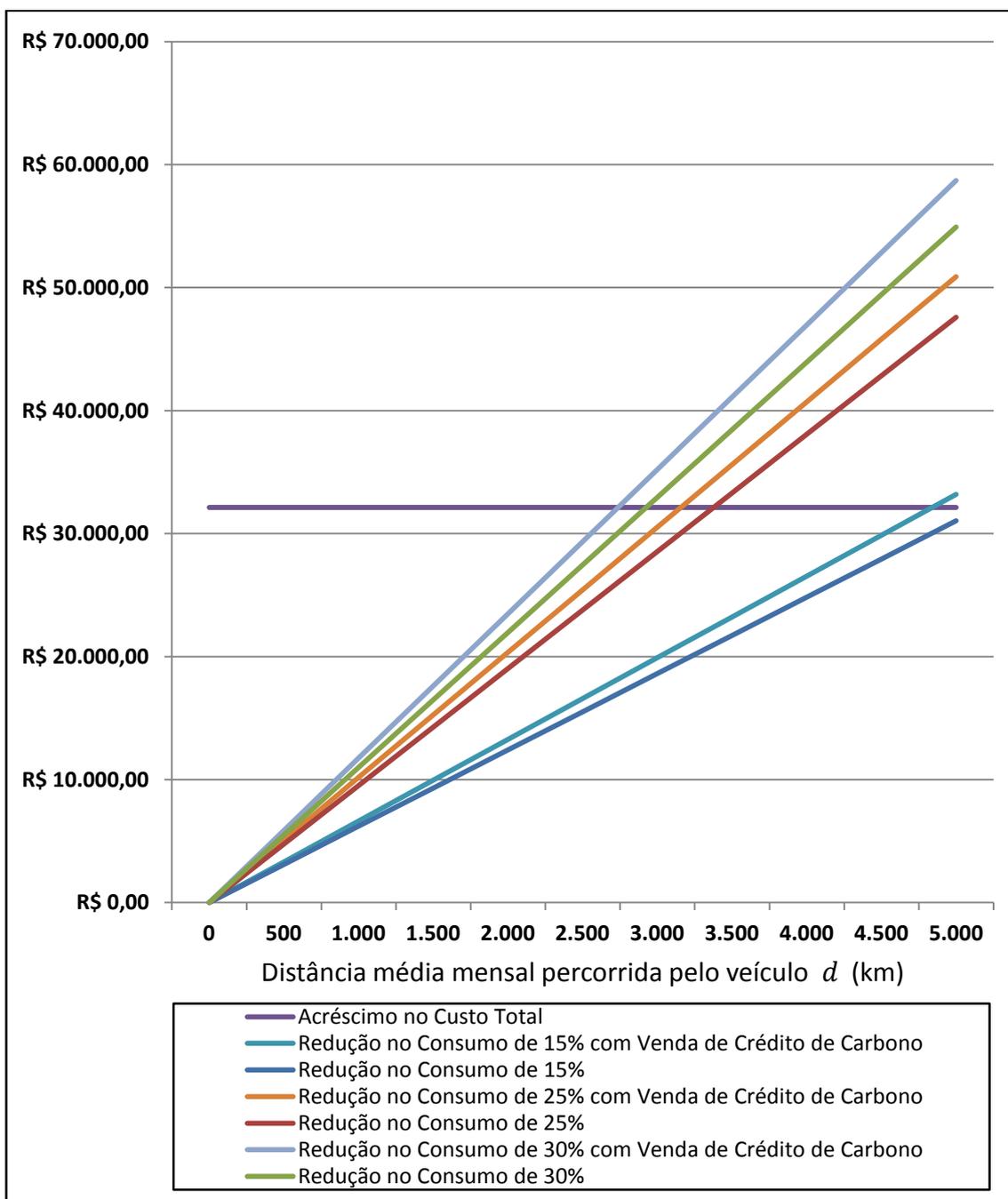


Figura 68: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46

Fonte: Elaboração do autor

Com o valor do crédito de carbono de R\$ 51,90, constrói-se o gráfico apresentado na figura 69:



**Figura 69: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda de crédito de carbono a R\$ 51,90**

Fonte: Elaboração do autor

Das figuras 68 e 69, verifica-se que todas as linhas de redução total no custo de operação conseguem cruzar a reta de acréscimo no custo total, com exceção da linha com taxa  $i_{\text{cons}}$  de 15%, que somente consegue determinar uma distância viável, no intervalo de distâncias considerado, se o valor do crédito de carbono for o de R\$51,90.

#### 4.1.4.2.5. Cenário C.1: T = 3 anos e $i_D = 0,027$ (2,7%)

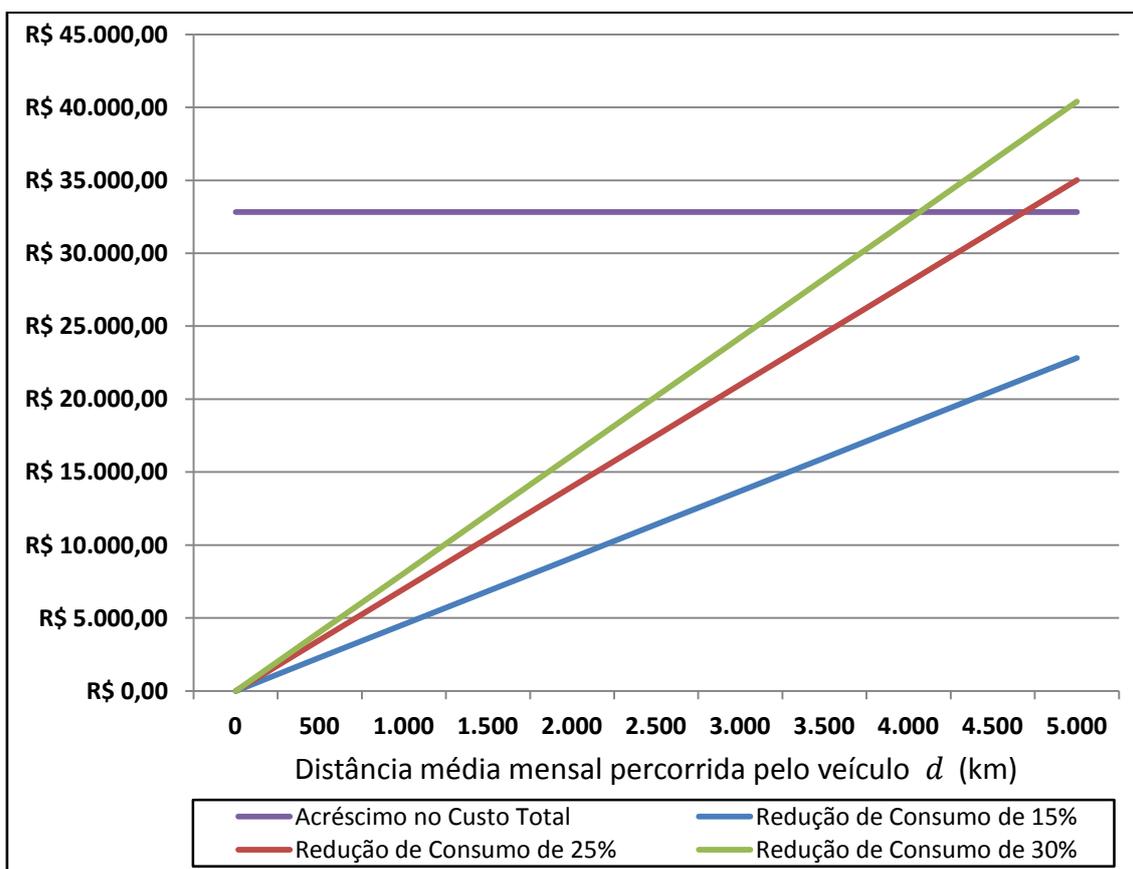
Para este cenário, os valores das distâncias, a partir das quais a introdução da tecnologia híbrida diesel-hidráulica em um veículo de coleta de resíduos é viável, estão apresentadas na tabela 103.

**Tabela 103: Valores de distância viável para a introdução do sistema híbrido – cenário C.1**

CRÉDITO DE CARBONO		DISTÂNCIA VIÁVEL		
VENDA	VALOR DO CRÉDITO	$i_{\text{cons}} = 15\%$	$i_{\text{cons}} = 25\%$	$i_{\text{cons}} = 30\%$
NÃO	-	7.188,87 km	4.688,39 km	4.063,27 km
SIM	R\$ 8,46	7.104,29 km	4.633,23 km	4.015,47 km
SIM	R\$ 51,90	6.699,56 km	4.369,28 km	3.786,71 km

Fonte: Elaboração do autor

Com base na tabela de redução total no custo de operação do veículo, constante do Apêndice X, e no acréscimo no custo total devido à aquisição do sistema híbrido constrói-se o gráfico da figura 70.

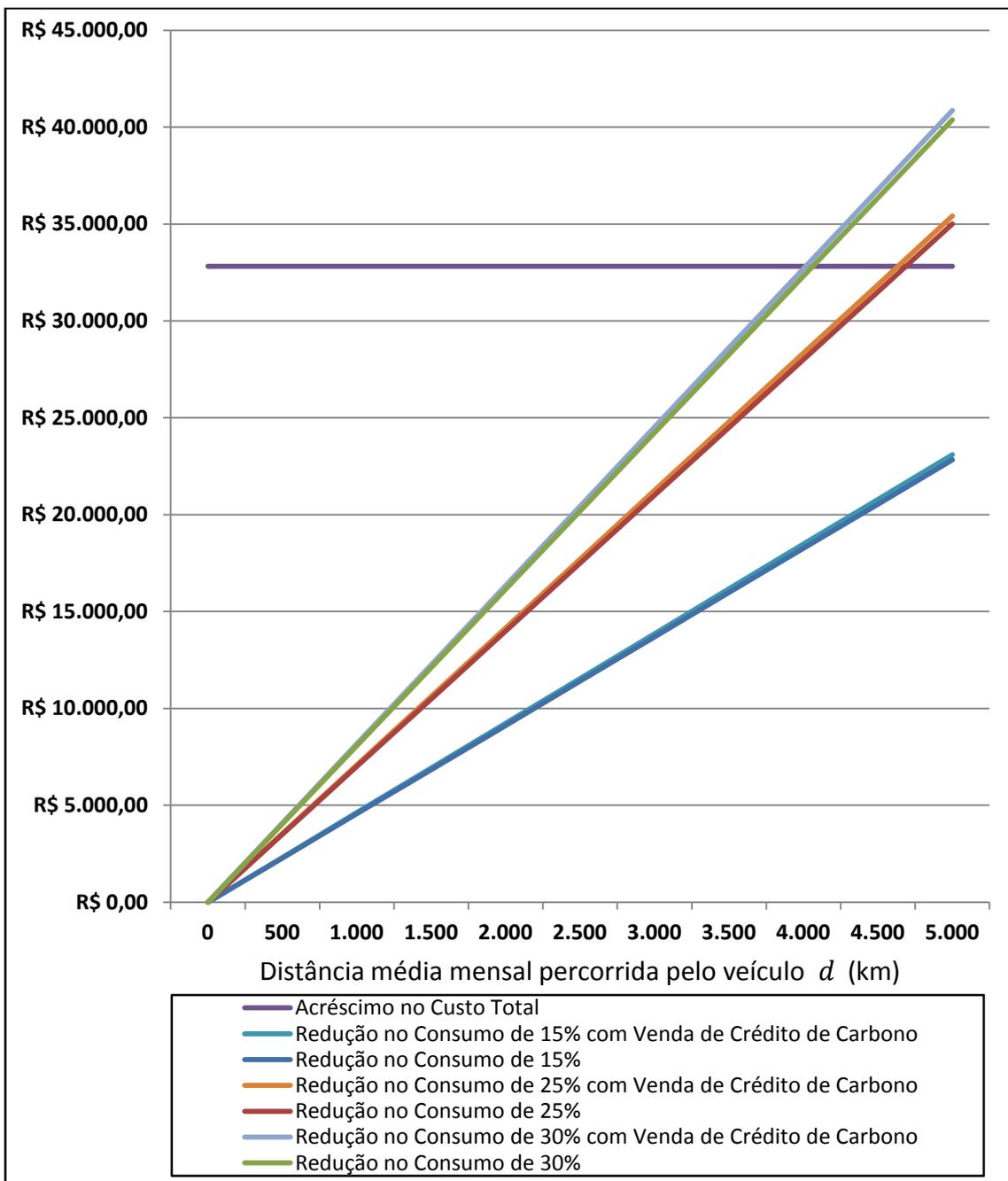


**Figura 70: Gráfico de análise da viabilidade financeira para o cenário C.1**

Fonte: Elaboração do autor

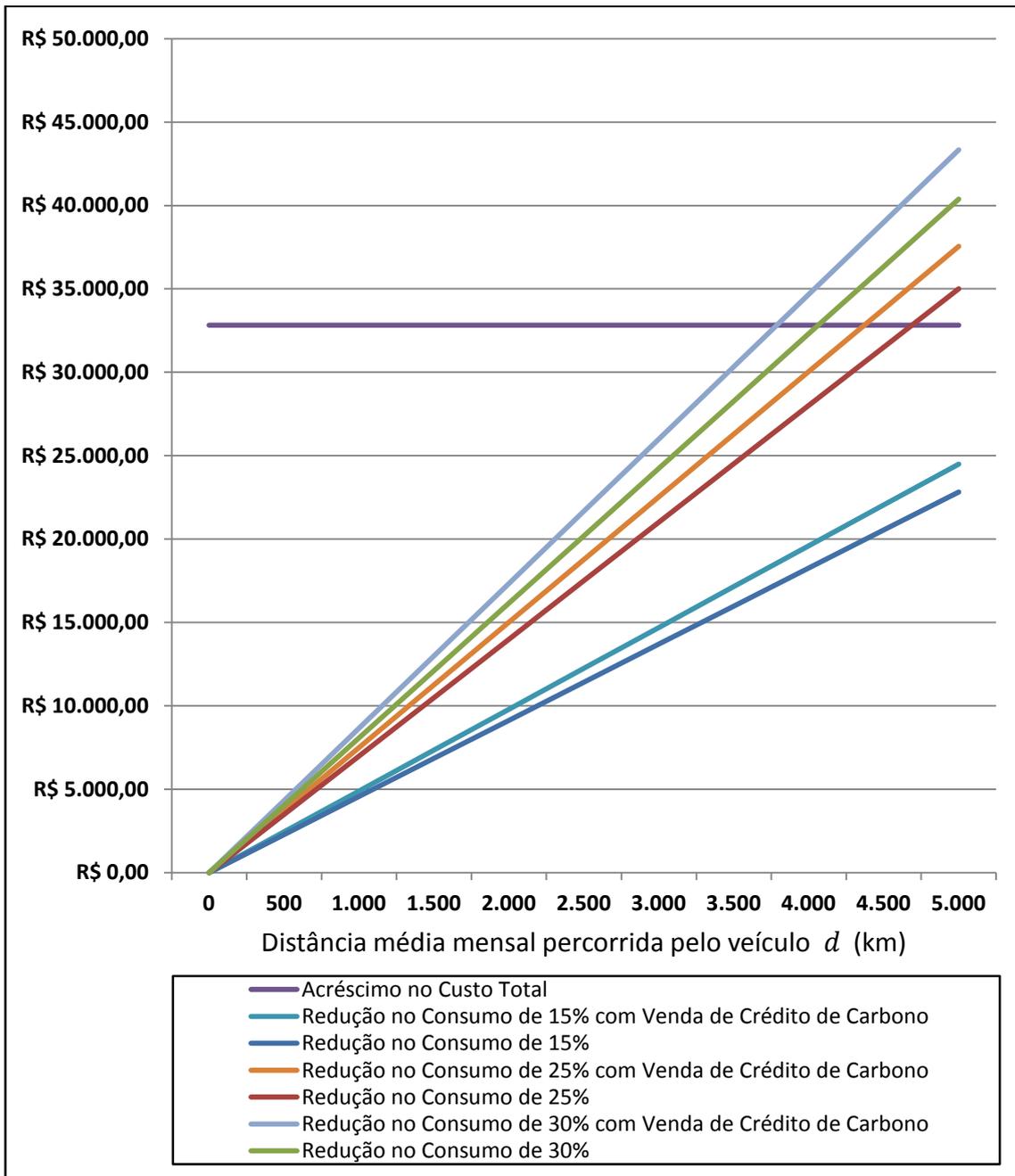
No gráfico, os pontos onde as linhas de redução total no custo de operação cruzam a reta de acréscimo no custo total determinam os valores encontrados anteriormente para as distâncias viáveis em que a introdução do sistema híbrido no veículo é viável, considerando o intervalo definido de distâncias médias percorridas pelo veículo.

O gráfico da figura 71 foi construído nos moldes do gráfico da figura 70, porém, considerando-se a venda de crédito de carbono a R\$ 8,46 por tonelada de carbono.



**Figura 71: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**  
 Fonte: Elaboração do autor

Com o valor do crédito de carbono de R\$ 51,90, constrói-se o gráfico apresentado na figura 72:



**Figura 72: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

Fonte: Elaboração do autor

Da mesma forma que no gráfico da figura 70, nos gráficos das figuras 71 e 72, somente as linhas de redução total no custo de operação para as taxas  $i_{\text{cons}}$  de 25% e 30% cruzam a reta de acréscimo no custo total, determinando os valores encontrados anteriormente para as distâncias viáveis, considerando-se a venda de crédito de carbono.

#### 4.1.4.2.6. Cenário C.2: $T = 3$ anos e $i_D = 0,056$ (5,6%)

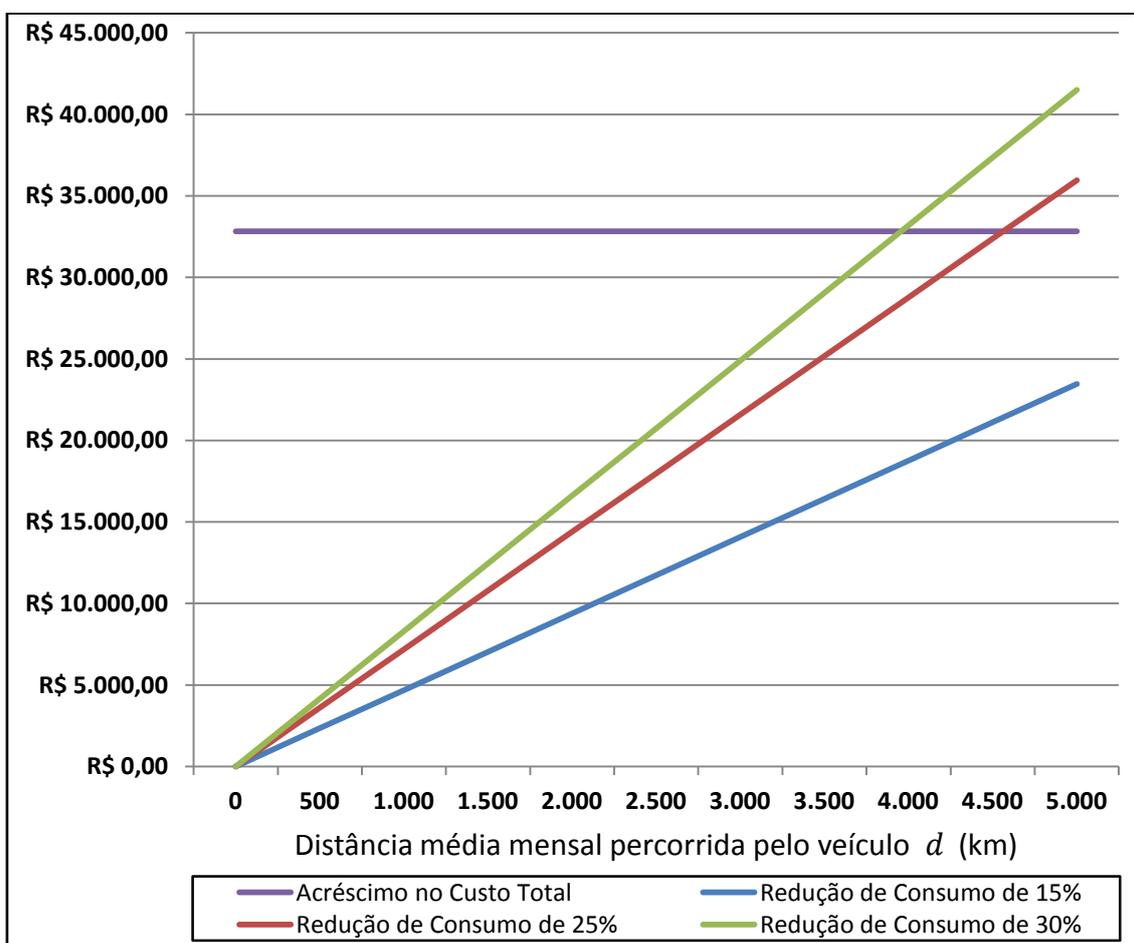
Para este cenário, os valores das distâncias, a partir das quais a introdução da tecnologia híbrida diesel-hidráulica em um veículo de coleta de resíduos é viável, estão apresentadas na Tabela 104.

**Tabela 104: Valores de distância viável para a introdução do sistema híbrido – cenário C.2**

CRÉDITO DE CARBONO		DISTÂNCIA VIÁVEL		
VENDA	VALOR DO CRÉDITO	$i_{\text{cons}} = 15\%$	$i_{\text{cons}} = 25\%$	$i_{\text{cons}} = 30\%$
NÃO	-	6.995,26 km	4.562,13 km	3.953,85 km
SIM	R\$ 8,46	6.915,16 km	4.509,88 km	3.908,57 km
SIM	R\$ 51,90	6.531,11 km	4.259,42 km	3.691,49 km

Fonte: Elaboração do autor

Do mesmo modo como foi feito no cenário B.2, representa-se essas distâncias no gráfico da figura 73.



**Figura 73: Gráfico de análise da viabilidade financeira para o cenário C.2**

Fonte: Elaboração do autor

O gráfico da figura 74 foi construído nos moldes do gráfico da figura 73, porém, considerando-se a venda de crédito de carbono a R\$ 8,46 por tonelada de carbono.

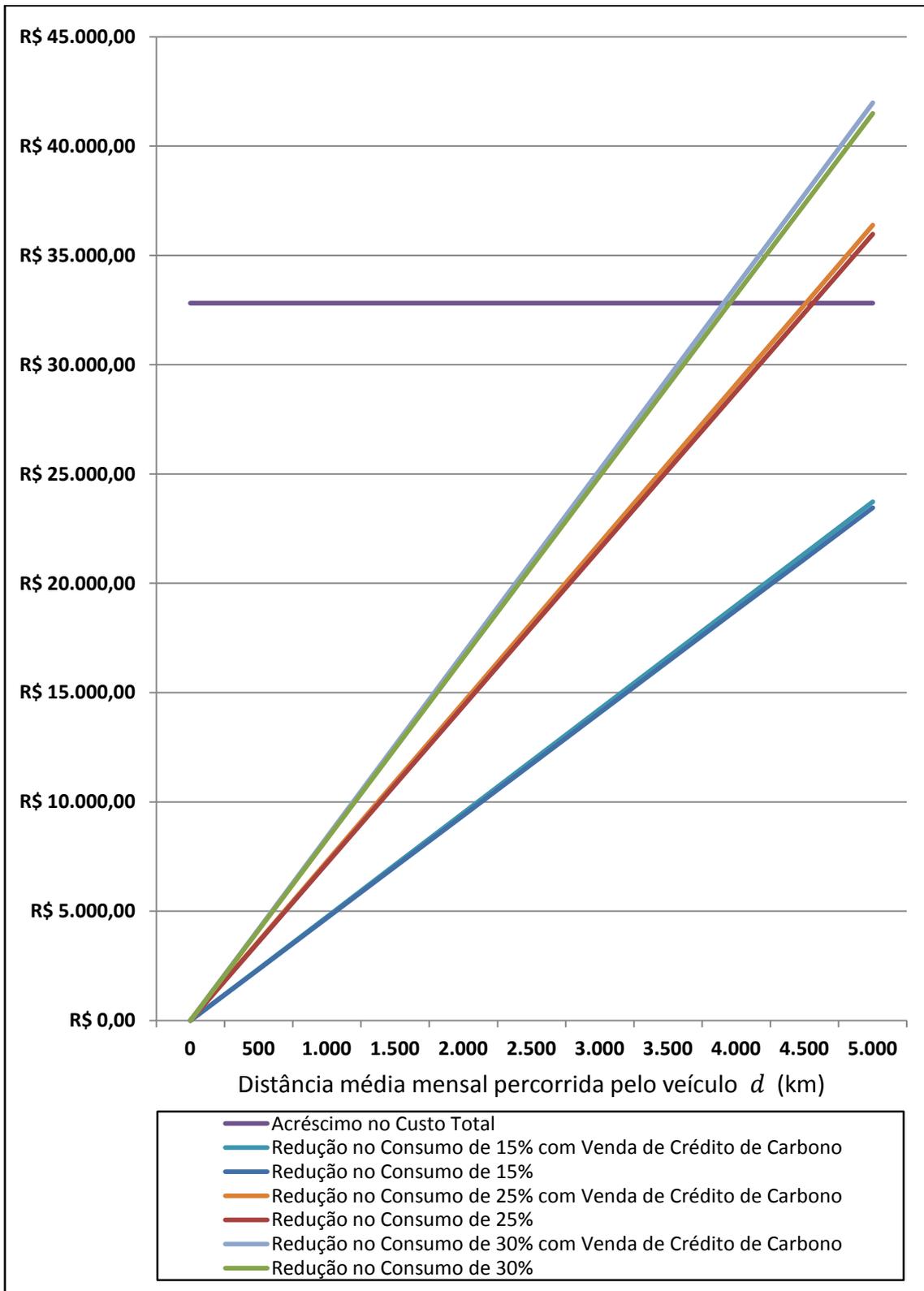
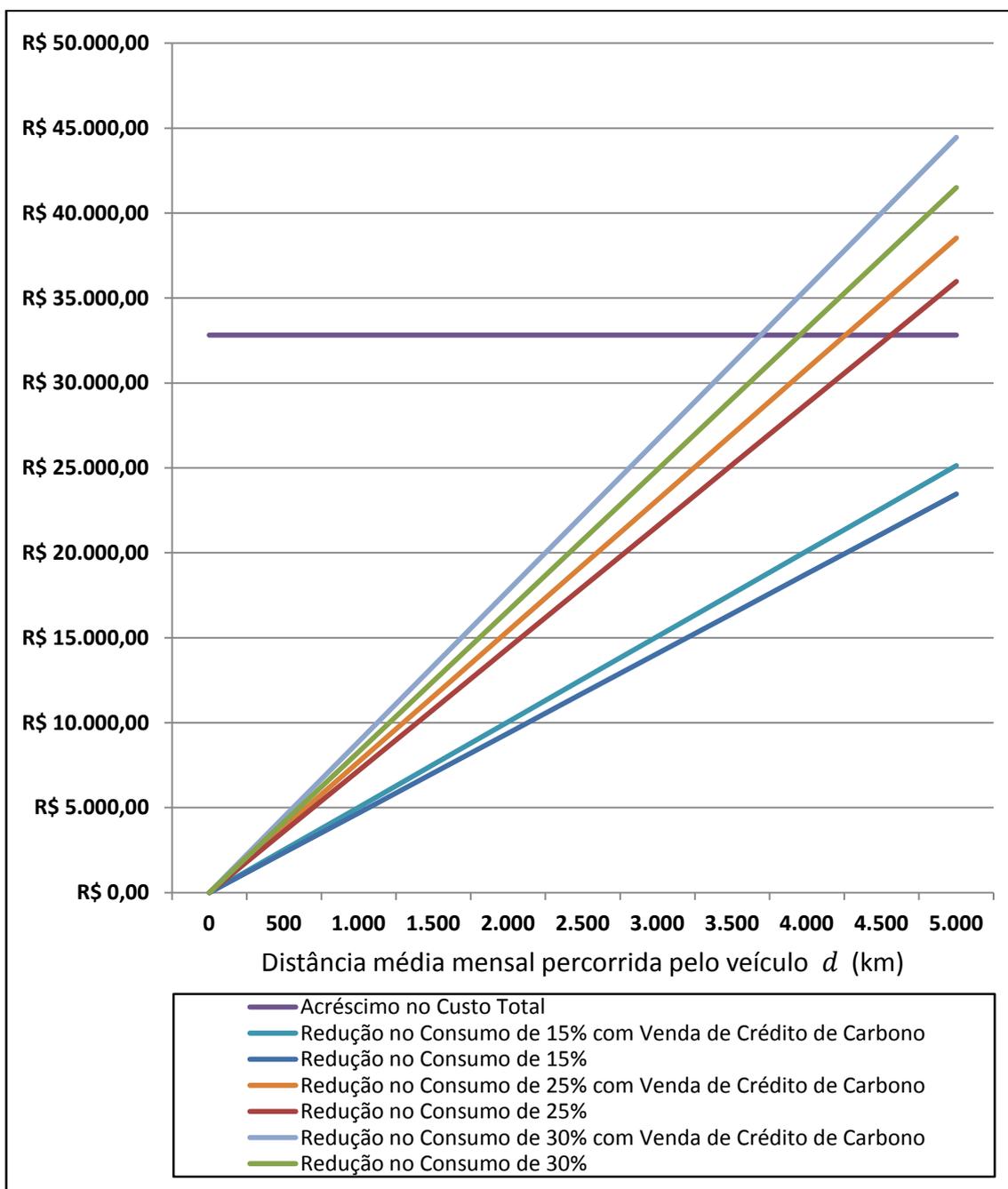


Figura 74: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46  
 Fonte: Elaboração do autor

Com o valor do crédito de carbono de R\$ 51,90, constrói-se o gráfico apresentado na figura 75:



**Figura 75: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda de crédito de carbono a R\$ 51,90**

Fonte: Elaboração do autor

Da mesma forma que no gráfico da figura 73, nos gráficos das figuras 74 e 75, somente as linhas de redução total no custo de operação para as taxas  $i_{\text{cons}}$  de 25% e 30% cruzam a reta de acréscimo no custo total, determinando os valores encontrados anteriormente para as distâncias viáveis, considerando-se a venda de crédito de carbono.

#### 4.1.4.2.7. Cenário D.1: T = 2 anos e $i_D = 0,027$ (2,7%)

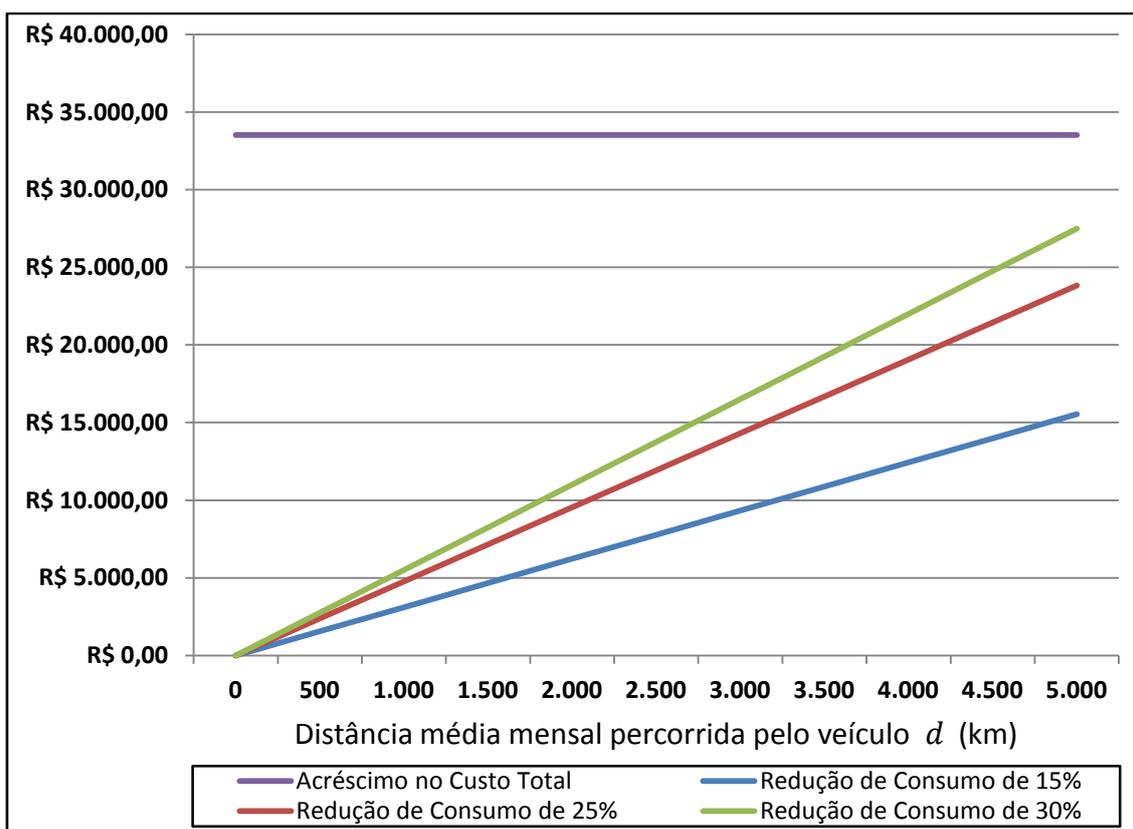
Para este cenário, os valores das distâncias, a partir das quais a introdução da tecnologia híbrida diesel-hidráulica em um veículo de coleta de resíduos é viável, estão apresentadas na tabela 105.

**Tabela 105: Valores de distância viável para a introdução do sistema híbrido – cenário D.1**

CRÉDITO DE CARBONO		DISTÂNCIA VIÁVEL		
VENDA	VALOR DO CRÉDITO	$i_{\text{cons}} = 15\%$	$i_{\text{cons}} = 25\%$	$i_{\text{cons}} = 30\%$
NÃO	-	10.783,99 km	7.033,04 km	6.095,30 km
SIM	R\$ 8,46	10.655,52 km	6.949,25 km	6.022,68 km
SIM	R\$ 51,90	10.041,25 km	6.548,64 km	5.675,49 km

Fonte: Elaboração do autor

Do mesmo modo como foi feito nos cenários anteriores, com base na tabela de redução total no custo de operação do veículo, constante do Apêndice XIII, e considerando-se o acréscimo no custo total devido à aquisição do sistema híbrido, constrói-se o gráfico da figura 76.

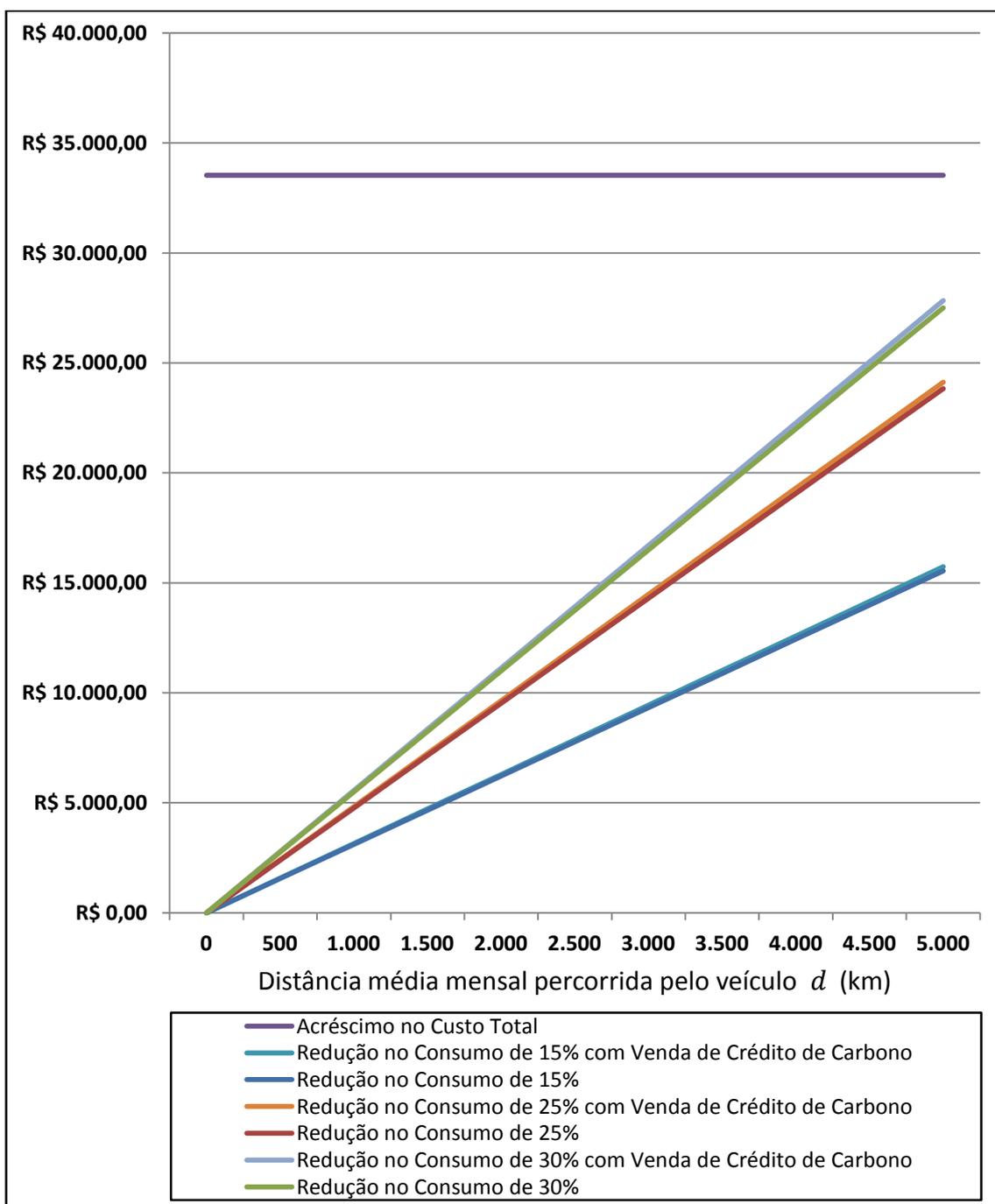


**Figura 76: Gráfico de análise da viabilidade financeira para o cenário D.1**

Fonte: Elaboração do autor

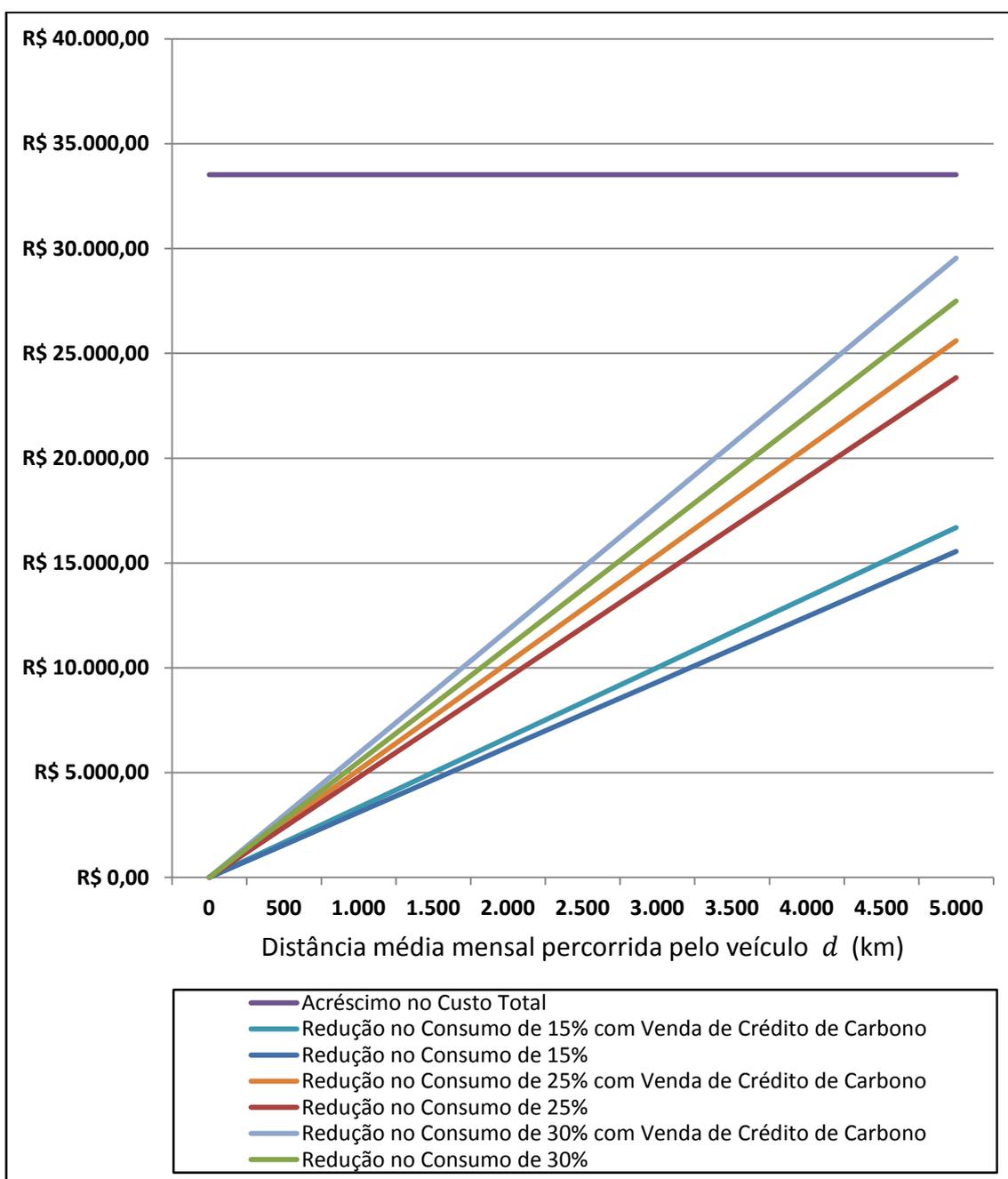
Como esperado, as linhas de redução total no custo de operação não cruzam com a reta de acréscimo no custo total, pois não há retorno financeiro para o cenário considerado, conforme mostram as tabelas de retorno financeiro, constantes do Apêndice XIII.

O gráfico da figura 77 foi construído nos moldes do gráfico da figura 76, porém, considerando-se a venda de crédito de carbono a R\$ 8,46 por tonelada de carbono.



**Figura 77: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**  
 Fonte: Elaboração do autor

Com o valor do crédito de carbono de R\$ 51,90, constrói-se o gráfico apresentado na figura 78:



**Figura 78 - Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

Fonte: Elaboração do autor

Da mesma forma que no gráfico da figura 76, nos gráficos das figuras 77 e 78, as linhas de redução total no custo de operação não cruzam a reta de acréscimo no custo total, visto que não há retorno financeiro, mesmo considerando a venda de crédito de carbono, conforme as tabelas de retorno financeiro, constantes do Apêndice XIII.

#### 4.1.4.2.8. Cenário D.2: T = 2 anos e $i_D = 0,056$ (5,6%)

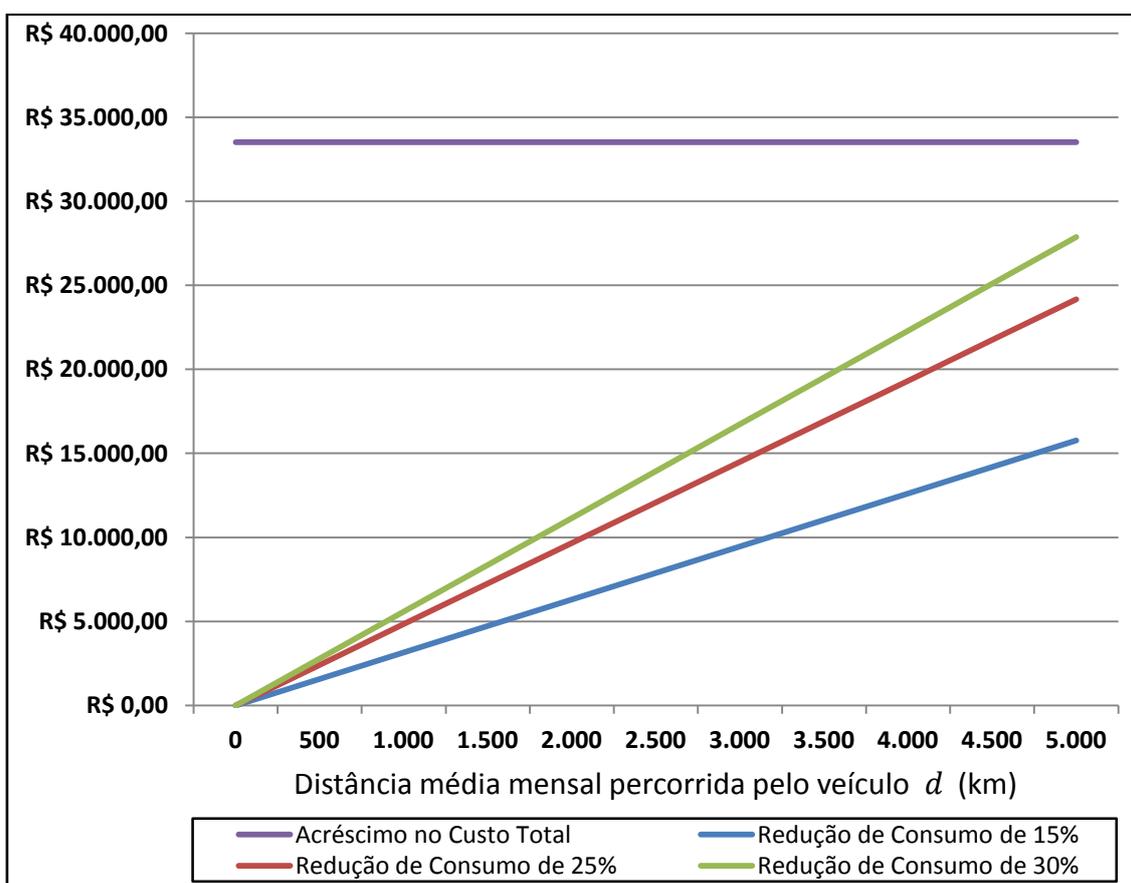
Para este cenário, os valores das distâncias, a partir das quais a introdução da tecnologia híbrida diesel-hidráulica em um veículo de coleta de resíduos é viável, estão apresentadas na tabela 106.

**Tabela 106: Valores de distância viável para a introdução do sistema híbrido – cenário D.2**

CRÉDITO DE CARBONO		DISTÂNCIA VIÁVEL		
VENDA	VALOR DO CRÉDITO	$i_{\text{cons}} = 15\%$	$i_{\text{cons}} = 25\%$	$i_{\text{cons}} = 30\%$
NÃO	-	10.637,07 km	6.937,22 km	6.012,25 km
SIM	R\$ 8,46	10.512,05 km	6.855,68 km	5.941,59 km
SIM	R\$ 51,90	9.913,75 km	6.465,49 km	5.603,42 km

Fonte: Elaboração do autor

Com base na tabela de redução total no custo de operação do veículo, constante do Apêndice XIV, e considerando-se o acréscimo no custo total devido à aquisição do sistema híbrido, constrói-se o gráfico da figura 79.



**Figura 79: Gráfico de análise da viabilidade financeira para o cenário D.2**

Fonte: Elaboração do autor

O gráfico da figura 80 foi construído nos moldes do gráfico da figura 79, porém, considerando-se a venda de crédito de carbono a R\$ 8,46 por tonelada de carbono.

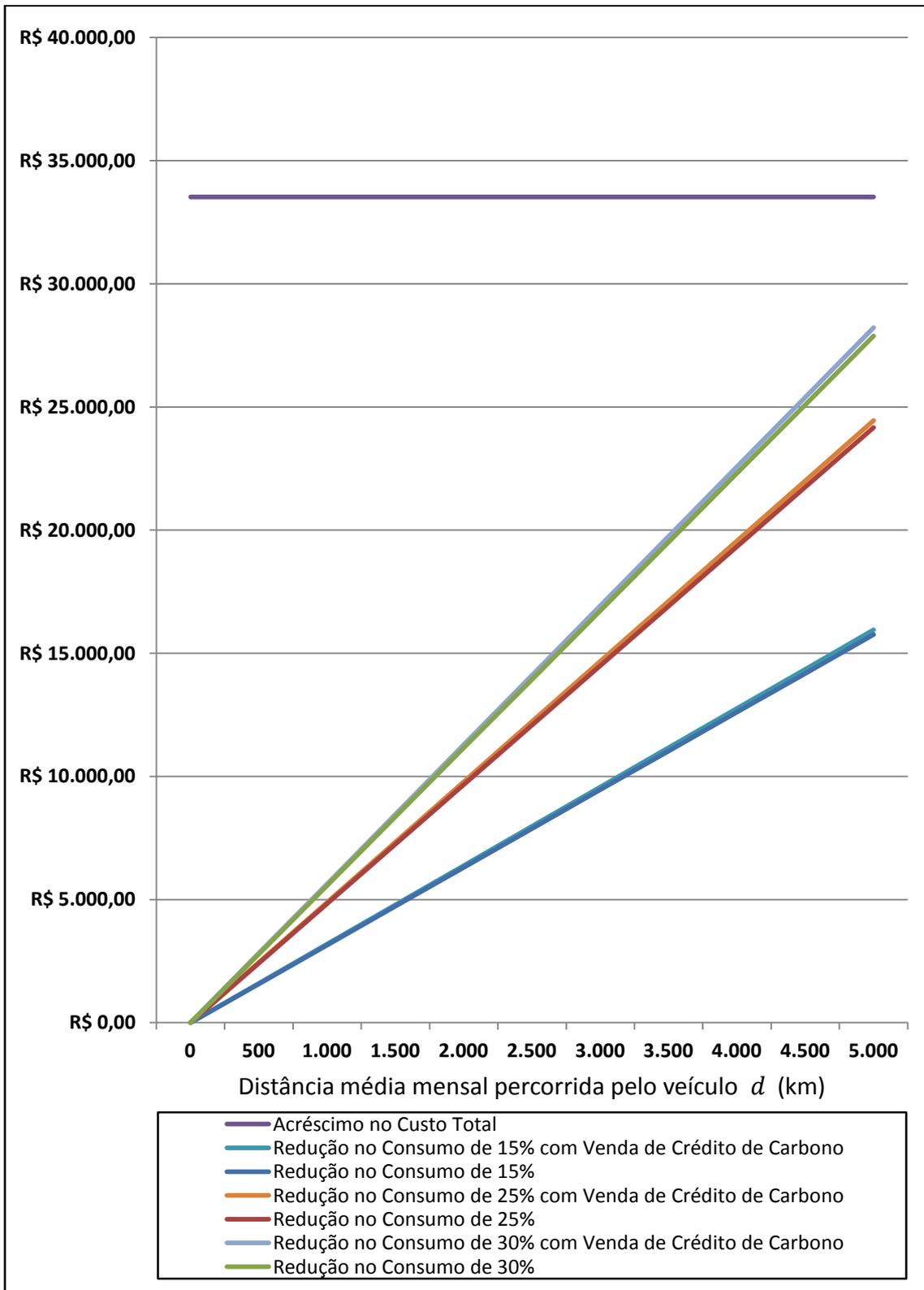
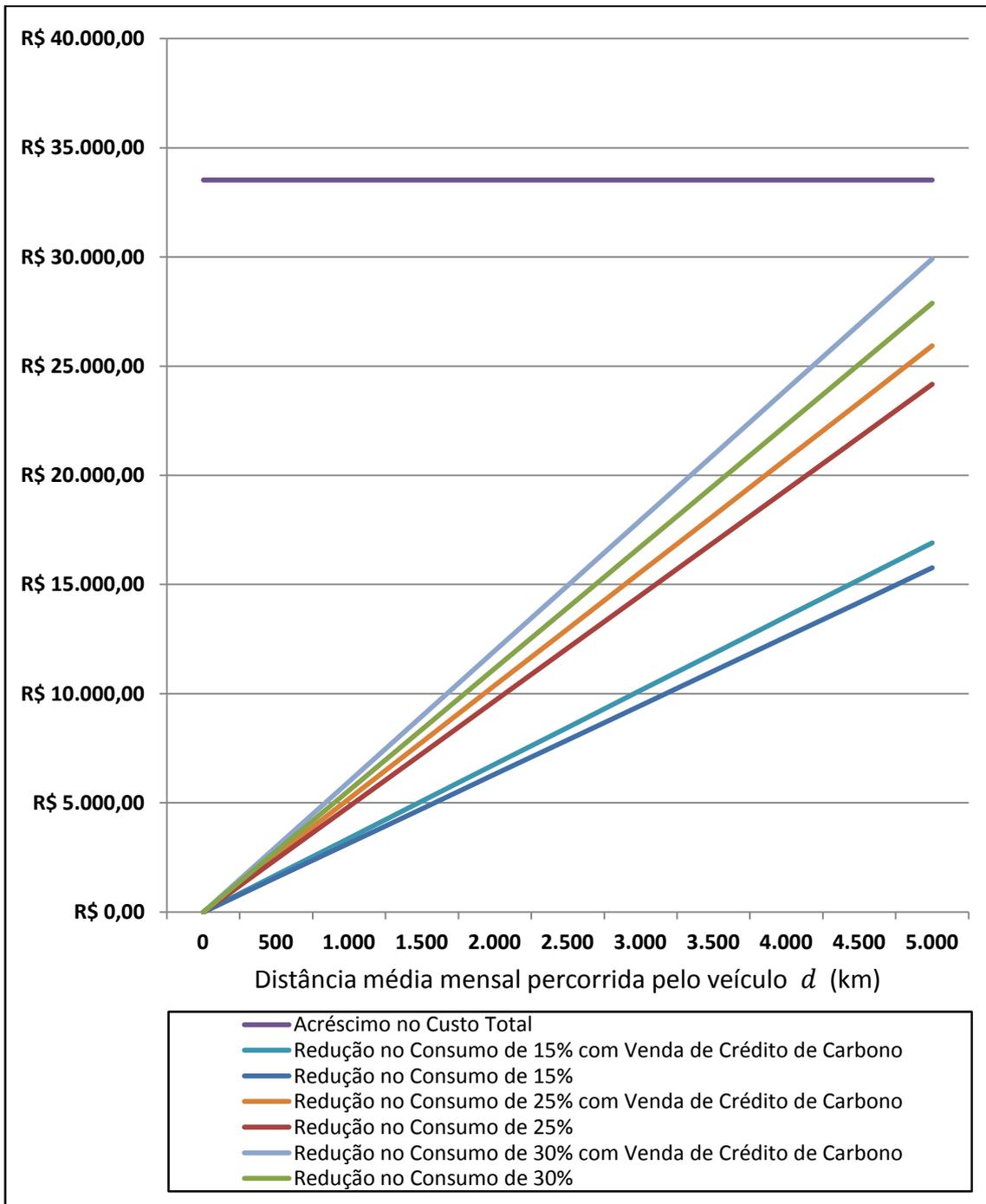


Figura 80: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46  
 Fonte: Elaboração do autor

Com o valor do crédito de carbono de R\$ 51,90, constrói-se o gráfico apresentado na figura 81:



**Figura 81: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda de crédito de carbono a R\$ 51,90**

Fonte: Elaboração do autor

Da mesma forma que no gráfico da figura 79, nos gráficos das figuras 80 e 81, as linhas de redução total no custo de operação não cruzam a reta de acréscimo no custo total, visto que não há retorno financeiro, mesmo considerando a venda de crédito de carbono.

#### 4.1.4.2.9. Compilação de resultados para a realidade operacional do veículo

Da tabela 9, extrai-se que a distância média mensal percorrida pelo veículo com compactador de 15 m<sup>3</sup> é de 4.200 km. Assim, para esse valor e considerando-se os procedimentos realizados na aplicação do método para análise financeira, bem como todos os oito cenários abordados anteriormente, são apresentadas na tabela 107 os valores do retorno financeiro obtido com a instalação do sistema híbrido hidráulico.

**Tabela 107: Retorno financeiro**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>R<sub>PB15%</sub></b>	<b>R<sub>PB25%</sub></b>	<b>R<sub>PB30%</sub></b>
A.1	-817,32	15.523,74	22.751,52
A.2	884,46	18.133,13	25.762,36
B.1	-7.098,07	6.251,82	12.156,58
B.2	-6.057,11	7.847,97	13.998,29
C.1	-13.644,99	-3.418,78	1.104,35
C.2	-13.114,32	-2.605,09	2.043,22
D.1	-20.469,54	-13.505,42	-10.425,13
D.2	-20.289,18	-13.228,86	-10.106,02

Fonte: Elaboração do autor

Considerando-se a venda de crédito de carbono, são construídas as tabelas 108 e 109, para valores do crédito iguais a R\$ 8,46 e R\$ 51,90, respectivamente.

**Tabela 108: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 8,46</b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>R<sub>PB15%</sub></b>	<b>R<sub>PB25%</sub></b>	<b>R<sub>PB30%</sub></b>
A.1	-436,01	16.108,42	23.426,15
A.2	1.265,77	18.717,82	26.436,99
B.1	-6.782,73	6.735,34	12.714,49
B.2	-5.741,77	8.331,49	14.556,20
C.1	-13.400,41	-3.043,76	1.537,07
C.2	-12.869,74	-2.230,07	2.475,94
D.1	-20.300,86	-13.246,76	-10.126,68
D.2	-20.120,49	-12.970,20	-9.807,58

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 109: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 51,90</b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>R<sub>PB15%</sub></b>	<b>R<sub>PB25%</sub></b>	<b>R<sub>PB30%</sub></b>
A.1	1.521,96	19.110,64	26.890,25
A.2	3.223,74	21.720,04	29.901,09
B.1	-5.163,54	9.218,10	15.579,21
B.2	-4.122,58	10.814,24	17.420,92
C.1	-12.144,56	-1.118,12	3.758,95
C.2	-11.613,89	-304,44	4.697,82
D.1	-19.434,69	-11.918,64	-8.594,23
D.2	-19.254,33	-11.642,08	-8.275,13

Fonte: Elaboração do autor

#### **4.1.4.3. Veículo com compactador de 10 m<sup>3</sup>**

Para o veículo com compactador de 10 m<sup>3</sup>, aplica-se o método para análise financeira da viabilidade de se introduzir a tecnologia híbrida diesel-hidráulica no mesmo. De modo semelhante ao que foi feito com o veículo anterior, o procedimento para a apresentação dos resultados será resumido e uma parte dos resultados constará do Apêndice XV ao Apêndice XXVIII, especialmente aqueles em que são expostos em tabelas.

Os valores para as variáveis fixas, que serão comuns a todos os cenários elaborados para este tipo de veículo, estão apresentados na tabela 110.

**Tabela 110: Valores das variáveis para veículo com compactador de 10 m<sup>3</sup>**

<b>VARIÁVEL</b>	<b>VALOR</b>
<b>ÍNDICES ECONÔMICOS</b>	
$i_{SELIC}$	7,25%
$i_{inf}$	4,5%
<b>VEÍCULO</b>	
$V_c$	R\$ 140.037,00
$V_{cc}$	R\$ 280.000,00
$VH_{cc}$	R\$ 308.000,00
<b>MANUTENÇÃO</b>	
$CM_{SF}$	R\$ 1.300,00
$CM_{MCE}$	R\$ 10.000,00
$CM_P$	R\$ 7.000,00
$CM_{LF}$	R\$ 5.000,00
$CMH_{SF}$	R\$ 650,00
$CMH_{MCE}$	R\$ 10.000,00
$CMH_P$	R\$ 7.000,00
$CMH_{LF}$	R\$ 5.000,00
<b>OPERAÇÃO</b>	
$e$	2,2
$V_D$	1,85

Fonte: Elaboração do autor

Utilizando-se a equação (18), obtêm-se os valores do consumo de combustível do veículo híbrido, de acordo com a taxa de redução no consumo alcançada. Dessa forma, tem-se que:

$$\begin{cases} e_{h_{15\%}} = 2,53 \text{ km/l} \\ e_{h_{25\%}} = 2,75 \text{ km/l} \\ e_{h_{25\%}} = 2,86 \text{ km/l} \end{cases}$$

Das equações (16) e (17), encontram-se os valores da quantidade de combustível gasto ( $F$  e  $F_h$ ) para cada veículo padrão e híbrido, respectivamente, por um período de um ano. Considerando-se as distâncias ( $d$ ) previamente definidas, o consumo do veículo padrão e dos híbridos, estes obtidos anteriormente para cada taxa  $i_{cons}$ , tem-se a tabela 111:

**Tabela 111: Consumo de combustível anual dos veículos padrão e híbrido**

<b>CONSUMO DE COMBUSTÍVEL ANUAL</b>					
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$d_{\text{anual}}$ (km)	F (l)	$F_{h15\%}$ (l)	$F_{h25\%}$ (l)	$F_{h30\%}$ (l)
0	0	0	0	0	0
500	6.000	2.727	2.372	2.182	2.098
1.000	12.000	5.455	4.743	4.364	4.196
1.500	18.000	8.182	7.115	6.545	6.294
2.000	24.000	10.909	9.486	8.727	8.392
2.500	30.000	13.636	11.858	10.909	10.490
3.000	36.000	16.364	14.229	13.091	12.587
3.500	42.000	19.091	16.601	15.273	14.685
4.000	48.000	21.818	18.972	17.455	16.783
4.500	54.000	24.545	21.344	19.636	18.881
5.000	60.000	27.273	23.715	21.818	20.979

Fonte: Elaboração do autor

Da equação (19), calcula-se a redução na quantidade de combustível gasto ( $\Delta F$ ). Os valores estão expressos na tabela 112.

**Tabela 112: Redução no consumo de combustível anual dos veículos padrão e híbrido**

<b>REDUÇÃO NO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL ANUAL</b>				
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$d_{\text{anual}}$ (km)	$\Delta F_{15\%}$ (l)	$\Delta F_{25\%}$ (l)	$\Delta F_{30\%}$ (l)
0	0	0	0	0
500	6.000	356	545	629
1.000	12.000	711	1.091	1.259
1.500	18.000	1.067	1.636	1.888
2.000	24.000	1.423	2.182	2.517
2.500	30.000	1.779	2.727	3.147
3.000	36.000	2.134	3.273	3.776
3.500	42.000	2.490	3.818	4.406
4.000	48.000	2.846	4.364	5.035
4.500	54.000	3.202	4.909	5.664
5.000	60.000	3.557	5.455	6.294

Fonte: Elaboração do autor

A redução no custo de operação do veículo híbrido, para  $i_{\text{cons}} = 15, 25$  e  $30\%$ , variando-se o valor da distância média mensal percorrida pelo veículo, para cada um dos anos do período de tempo T, é encontrada aplicando-se as equações (20) e (21). Os resultados foram obtidos para taxas de aumento anual do preço do óleo diesel iguais a 2,7 e 5,6% e são apresentados nos Apêndices XV e XVI, respectivamente.

A redução no consumo de combustível gera, como consequência, uma redução na emissão de CO<sub>2</sub>, conforme exposto no item 4.1.3.5. Assim, tomando-se os resultados da tabela 112 e introduzindo-os na equação (27), são encontrados os valores de redução da emissão de CO<sub>2</sub>.

**Tabela 113: Redução da emissão de CO<sub>2</sub>**

<b>REDUÇÃO DA EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> (kg)</b>			
d <sub>mensal</sub> (km)	G <sub>C15%</sub>	G <sub>C25%</sub>	G <sub>C30%</sub>
0	0	0	0
500	950	1.457	1.681
1.000	1.900	2.914	3.362
1.500	2.850	4.371	5.043
2.000	3.801	5.828	6.724
2.500	4.751	7.285	8.405
3.000	5.701	8.741	10.086
3.500	6.651	10.198	11.767
4.000	7.601	11.655	13.448
4.500	8.551	13.112	15.129
5.000	9.502	14.569	16.810

Fonte: Elaboração do autor

Pela equação (29), considerando-se os valores do crédito de carbono iguais a R\$ 8,46 e R\$ 51,90, tal como foi definido no item 4.1.3.5, tem-se as tabelas 114 e 115.

**Tabela 114: Lucro da venda de crédito de carbono (Z<sub>C</sub> = R\$ 8,46)**

<b>LUCRO ANUAL DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO (Z<sub>C</sub> = R\$ 8,46)</b>			
d <sub>mensal</sub> (km)	L <sub>C15%</sub>	L <sub>C25%</sub>	L <sub>C30%</sub>
0	0	0	0
500	8,04	12,33	14,22
1.000	16,08	24,65	28,44
1.500	24,12	36,98	42,67
2.000	32,15	49,30	56,89
2.500	40,19	61,63	71,11
3.000	48,23	73,95	85,33
3.500	56,27	86,28	99,55
4.000	64,31	98,60	113,77
4.500	72,35	110,93	128,00
5.000	80,38	123,25	142,22

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 115: Lucro da venda de crédito de carbono ( $Z_C = R\$ 51,90$ )**

<b>LUCRO ANUAL DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO (<math>Z_C = R\\$ 51,90</math>)</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$L_{C15\%}$	$L_{C25\%}$	$L_{C30\%}$
0	0	0	0
500	49,31	75,61	87,25
1.000	98,63	151,23	174,49
1.500	147,94	226,84	261,74
2.000	197,25	302,45	348,99
2.500	246,57	378,07	436,23
3.000	295,88	453,68	523,48
3.500	345,19	529,30	610,73
4.000	394,51	604,91	697,97
4.500	443,82	680,52	785,22
5.000	493,13	756,14	872,46

Fonte: Elaboração do autor

Todos os resultados apresentados anteriormente serão utilizados em todos os cenários para o veículo com compactador de 10 m<sup>3</sup> e se referem a um único veículo. Conforme será visto, a variação do tempo de renovação da frota e da taxa de aumento anual do preço do óleo diesel causará impacto nos custos de operação e, conseqüentemente, no retorno financeiro.

Aplicando-se o método para análise financeira, seguindo o mesmo procedimento realizado para o veículo com compactador de 19 m<sup>3</sup> e utilizando-se os mesmos cenários, são encontradas as distâncias a partir das quais a introdução da tecnologia híbrida diesel-hidráulica em um veículo de coleta de resíduos é viável, para cada cenário considerado. Serão apresentados, também, os gráficos que auxiliam na visualização da viabilidade do sistema híbrido, com curvas de redução total no custo de operação e acréscimo no custo total devido à aquisição desse sistema.

Para os cenários com mesma letra (A, B, C ou D), os valores de variáveis que independem da distância percorrida, relativas ao veículo e à manutenção, estão expressos nas tabelas 116, 117, 118 e 119, respeitando-se todas as considerações e dados apresentados nos itens 4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3.

**Tabela 116: Resultados calculados pela aplicação do método no cenário A.1 e A.2**

<b>VARIÁVEL</b>	<b>VALOR</b>
<b>VEÍCULO</b>	
$V_r$	R\$ 59.196,06
$VH_r$	R\$ 59.196,06
$CC_{VP}$	R\$ 220.803,94
$CCH_{VP}$	R\$ 248.803,94
$\Delta CC_{VP}$	R\$ 28.000,00
$\Delta CR_{VP}$	R\$ 25.121,16
$i_r$	0,30 (30%)
<b>MANUTENÇÃO</b>	
CM	R\$ 23.300,00
CMH	R\$ 22.650,00
$CM_{VP}$	R\$ 103.195,22
$CMH_{VP}$	R\$ 100.316,39
$\Delta CM_{VP}$	R\$ 2.878,84

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 117: Resultados calculados pela aplicação do método no cenário B.1 e B.2**

<b>VARIÁVEL</b>	<b>VALOR</b>
<b>VEÍCULO</b>	
$V_r$	R\$ 65.942,63
$VH_r$	R\$ 65.942,63
$CC_{VP}$	R\$ 214.057,37
$CCH_{VP}$	R\$ 242.057,37
$\Delta CC_{VP}$	R\$ 28.000,00
$\Delta CR_{VP}$	R\$ 25.667,41
$i_r$	0,3116 (31,16%)
<b>MANUTENÇÃO</b>	
CM	R\$ 23.300,00
CMH	R\$ 22.650,00
$CM_{VP}$	R\$ 83.614,24
$CMH_{VP}$	R\$ 81.281,65
$\Delta CM_{VP}$	R\$ 2.332,59

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 118: Resultados calculados pela aplicação do método no cenário C.1 e C.2**

VARIÁVEL	VALOR
<b>VEÍCULO</b>	
$V_r$	R\$ 73.469,80
$VH_r$	R\$ 73.469,80
$CC_{VP}$	R\$ 206.530,20
$CCH_{VP}$	R\$ 234.530,20
$\Delta CC_{VP}$	R\$ 28.000,00
$\Delta CR_{VP}$	R\$ 26.228,04
$i_r$	0,3237 (32,37%)
<b>MANUTENÇÃO</b>	
CM	R\$ 23.300,00
CMH	R\$ 22.650,00
$CM_{VP}$	R\$ 63.517,96
$CMH_{VP}$	R\$ 61.746,00
$\Delta CM_{VP}$	R\$ 1.771,96

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 119: Resultados calculados pela aplicação do método no cenário D.1 e D.2**

VARIÁVEL	VALOR
<b>VEÍCULO</b>	
$V_r$	R\$ 82.009,55
$VH_r$	R\$ 82.009,55
$CC_{VP}$	R\$ 197.990,45
$CCH_{VP}$	R\$ 225.990,45
$\Delta CC_{VP}$	R\$ 28.000,00
$\Delta CR_{VP}$	R\$ 26.803,42
$i_r$	0,3369 (33,69%)
<b>MANUTENÇÃO</b>	
CM	R\$ 23.300,00
CMH	R\$ 22.650,00
$CM_{VP}$	R\$ 42.892,83
$CMH_{VP}$	R\$ 41.696,25
$\Delta CM_{VP}$	R\$ 1.196,58

Fonte: Elaboração do autor

Seguindo os passos definidos pelo método, encontra-se a redução no custo de operação para o veículo híbrido a partir da quantidade de combustível economizada. Depois, calcula-se a redução total desse custo, a valor presente, para cada taxa  $i_{cons}$ .

De posse do acréscimo no custo total devido à aquisição do sistema híbrido e do último resultado, obtém-se o retorno financeiro por veículo, a valor presente. E com o lucro anual da venda de crédito de carbono, determina-se o lucro total, a valor presente, alcançado com essa operação. Assim, consegue-se calcular o retorno financeiro resultante, incluindo-se este lucro obtido.

Todos esses resultados servem de base para o cálculo das distâncias viáveis e para a construção dos gráficos, sendo apresentados em tabelas nos Apêndices XVII ao XXVIII.

#### 4.1.4.3.1. Cenário A.1: $T = 5$ anos e $i_p = 0,027$ (2,7%)

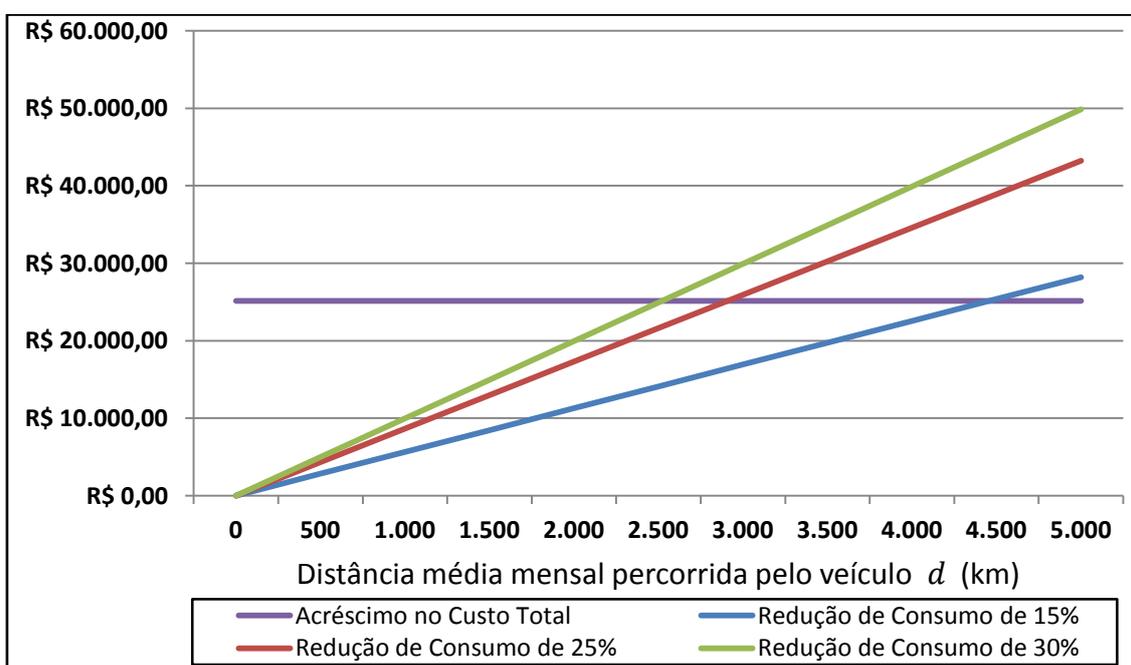
Para este cenário, os valores das distâncias, a partir das quais a introdução da tecnologia híbrida diesel-hidráulica em um veículo de coleta de resíduos é viável, estão apresentadas na tabela 120.

**Tabela 120: Valores de distância viável para a introdução do sistema híbrido – cenário A.1**

CRÉDITO DE CARBONO		DISTÂNCIA VIÁVEL		
VENDA	VALOR DO CRÉDITO	$i_{\text{cons}} = 15\%$	$i_{\text{cons}} = 25\%$	$i_{\text{cons}} = 30\%$
NÃO	-	4.456,37 km	2.906,33 km	2.518,82 km
SIM	R\$ 8,46	4.405,20 km	2.872,96 km	2.489,90 km
SIM	R\$ 51,90	4.159,94 km	2.713,00 km	2.351,27 km

Fonte: Elaboração do autor

Com base na tabela de redução total no custo de operação do veículo, constante do Apêndice XVIII, e no acréscimo no custo total devido à aquisição do sistema híbrido, constrói-se o gráfico da figura 82.

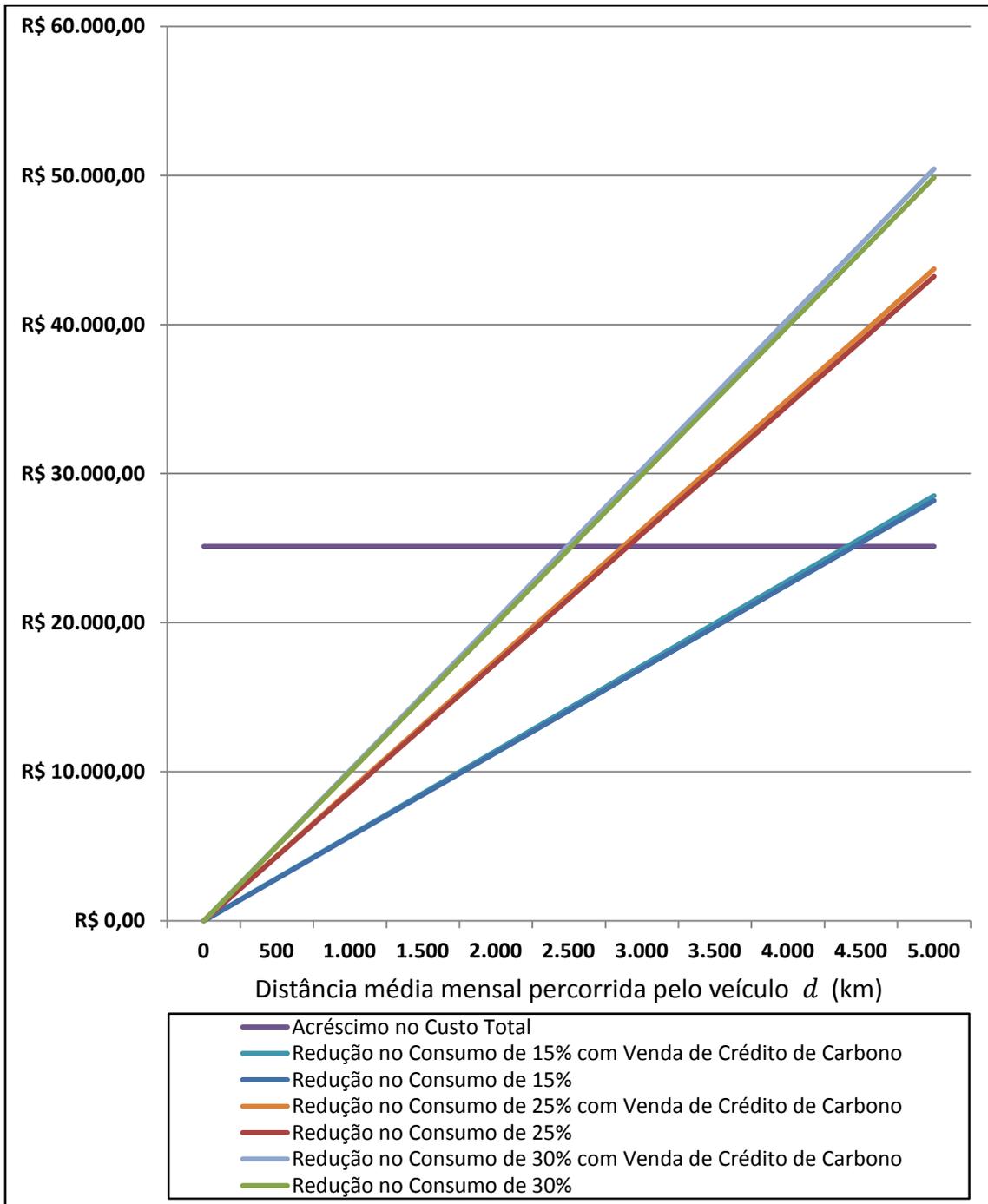


**Figura 82: Gráfico de análise da viabilidade financeira para o cenário A.1**

Fonte: Elaboração do autor

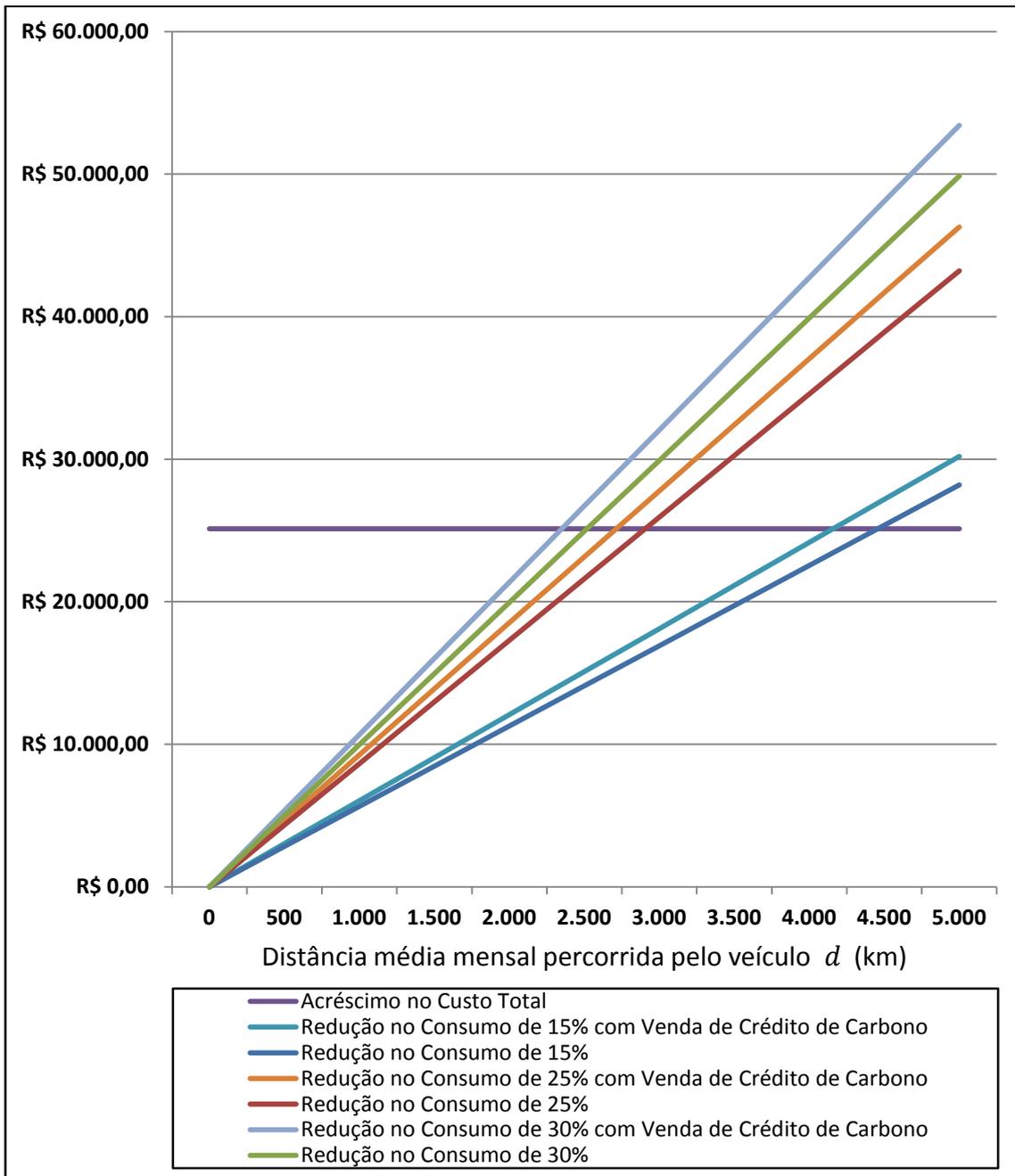
No gráfico, os pontos onde as linhas de redução total no custo de operação cruzam a reta de acréscimo no custo total determinam os valores encontrados anteriormente para as distâncias a partir das quais a introdução do sistema híbrido no veículo é viável.

O gráfico da figura 83 foi construído nos moldes do gráfico da figura 82, porém, considerando-se a venda de crédito de carbono a R\$ 8,46 por tonelada de carbono.



**Figura 83: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**  
 Fonte: Elaboração do autor

Com o valor do crédito de carbono de R\$ 51,90, constrói-se o gráfico apresentado na figura 84:



**Figura 84: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

Fonte: Elaboração do autor

Da mesma forma que no gráfico da figura 82, nos gráficos das figuras 83 e 84, os pontos onde as linhas de redução total no custo de operação cruzam a reta de acréscimo no custo total determinam os valores encontrados anteriormente para as distâncias, com ou sem a venda de crédito de carbono, a partir das quais o sistema híbrido é viável.

#### 4.1.4.3.2. Cenário A.2: T = 5 anos e $i_D = 0,056$ (5,6%)

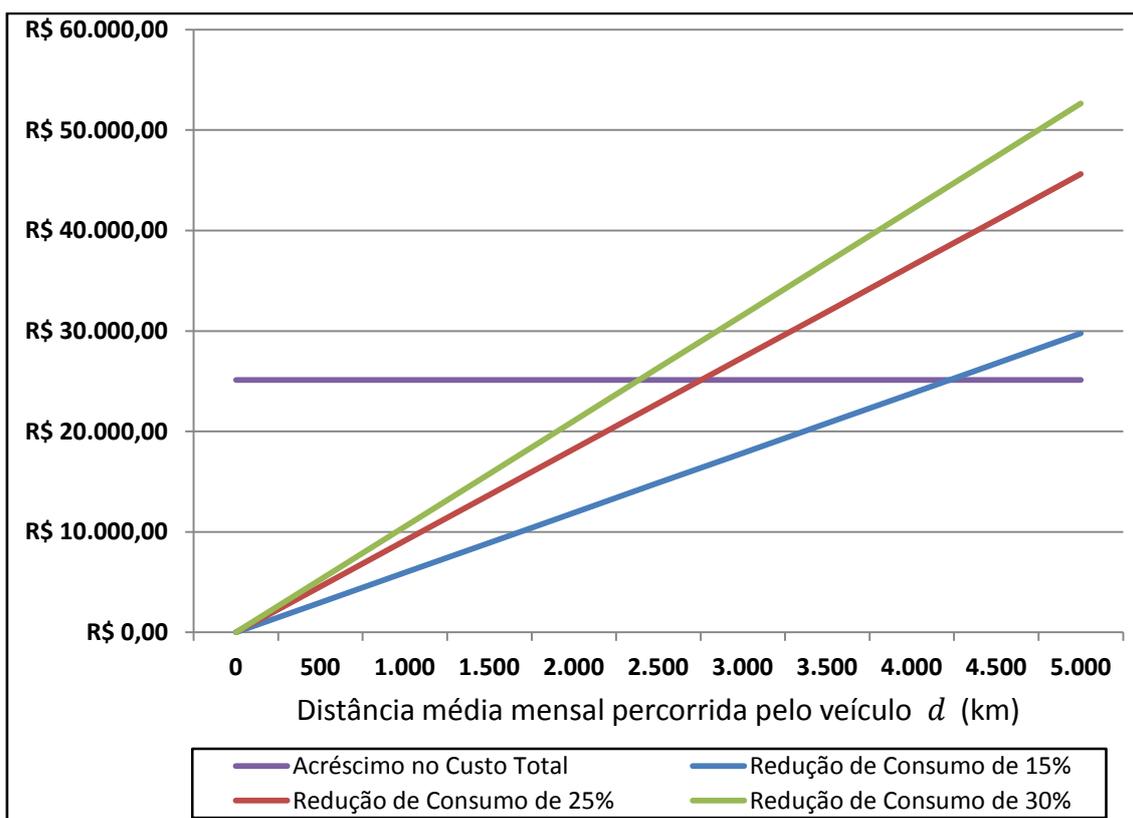
Para este cenário, os valores das distâncias, a partir das quais a introdução da tecnologia híbrida diesel-hidráulica em um veículo de coleta de resíduos é viável, estão apresentadas na tabela 121.

**Tabela 121: Valores de distância viável para a introdução do sistema híbrido – cenário A.2**

CRÉDITO DE CARBONO		DISTÂNCIA VIÁVEL		
VENDA	VALOR DO CRÉDITO	$i_{\text{cons}} = 15\%$	$i_{\text{cons}} = 25\%$	$i_{\text{cons}} = 30\%$
NÃO	-	4.221,88 km	2.753,40 km	2.386,28 km
SIM	R\$ 8,46	4.175,92 km	2.723,43 km	2.360,31 km
SIM	R\$ 51,90	3.954,89 km	2.579,27 km	2.235,37 km

Fonte: Elaboração do autor

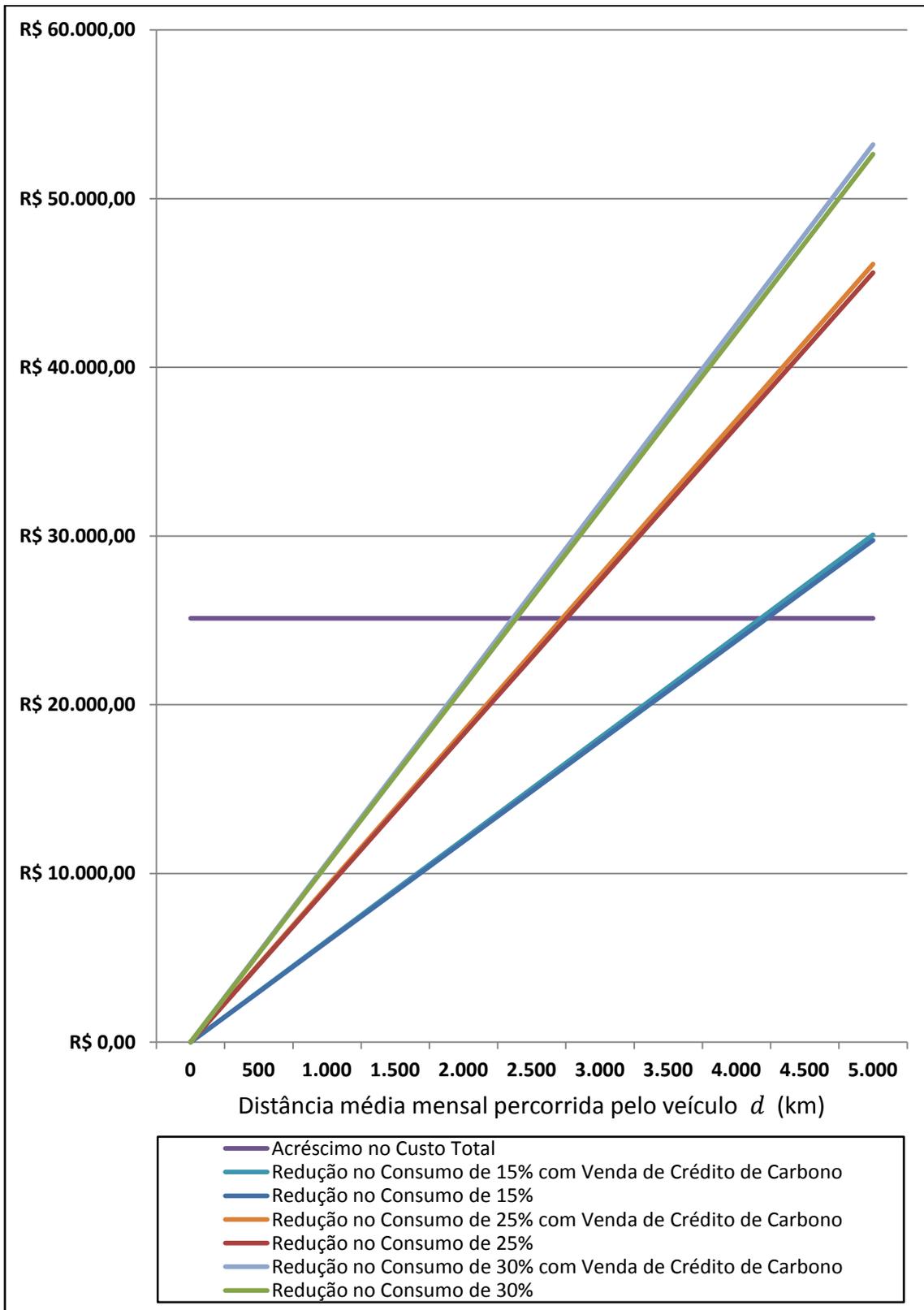
Essas distâncias são representadas no gráfico da figura 85 pelos pontos onde as retas, que indicam a redução total no custo de operação (curvas lineares de cores verde, vermelha e azul), cruzam a linha de acréscimo no custo total devido à aquisição do sistema híbrido, ilustrada por uma reta paralela ao eixo das abscissas, na cor roxa.



**Figura 85 - Gráfico de análise da viabilidade financeira para o cenário A.2**

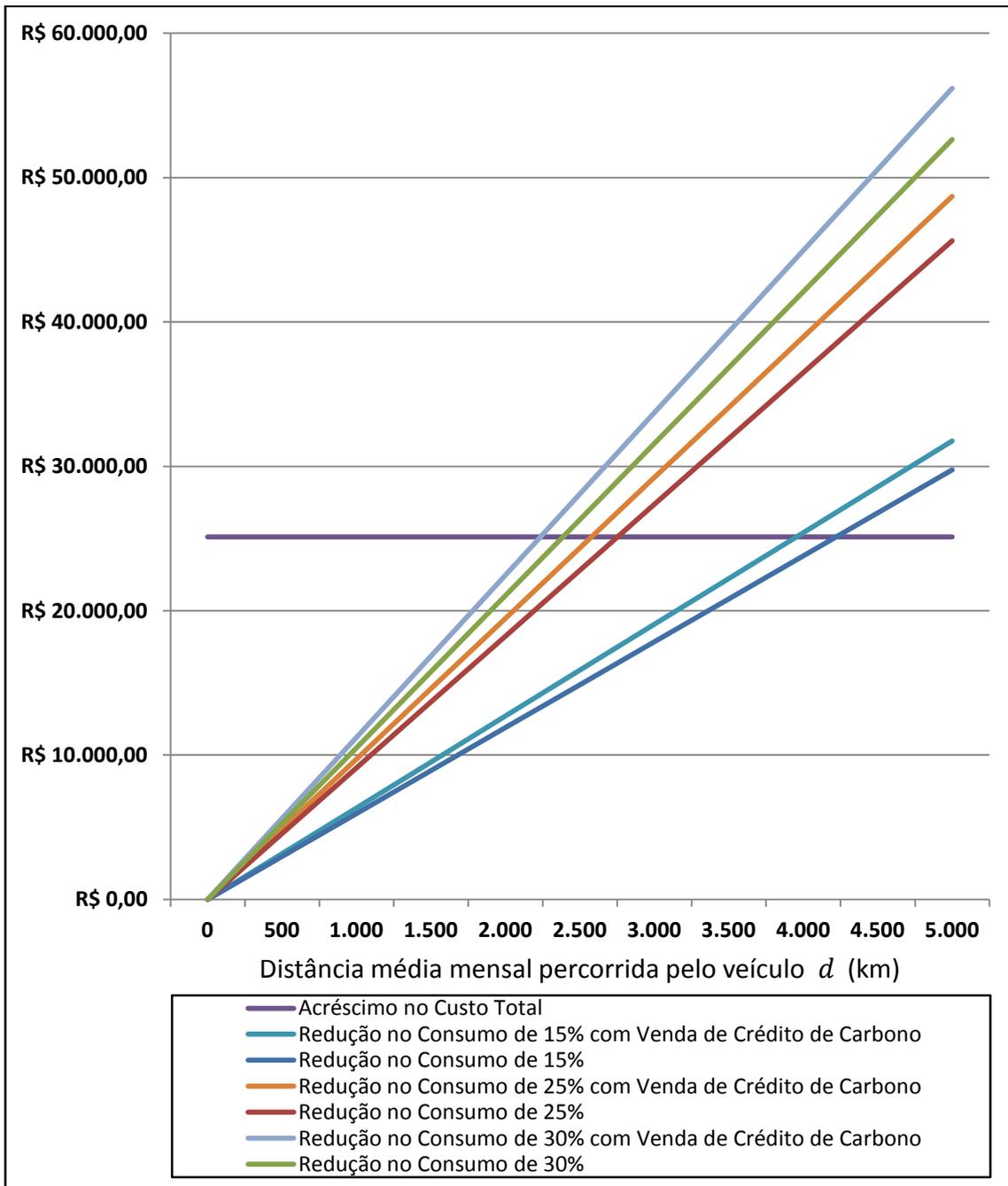
Fonte: Elaboração do autor

O gráfico da figura 86 foi construído nos moldes do gráfico da figura 85, porém, considerando-se a venda de crédito de carbono a R\$ 8,46 por tonelada de carbono.



**Figura 86: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**  
 Fonte: Elaboração do autor

Com o valor do crédito de carbono de R\$ 51,90, constrói-se o gráfico apresentado na figura 87:



**Figura 87: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda de crédito de carbono a R\$ 51,90**

Fonte: Elaboração do autor

Da mesma forma que no gráfico da figura 85, nos gráficos das figuras 86 e 87, os pontos onde as linhas de redução total no custo de operação cruzam a reta de acréscimo no custo total determinam os valores encontrados anteriormente para as distâncias, com ou sem a venda de crédito de carbono, a partir das quais o sistema híbrido é viável.

#### 4.1.4.3.3. Cenário B.1: T = 4 anos e $i_D = 0,027$ (2,7%)

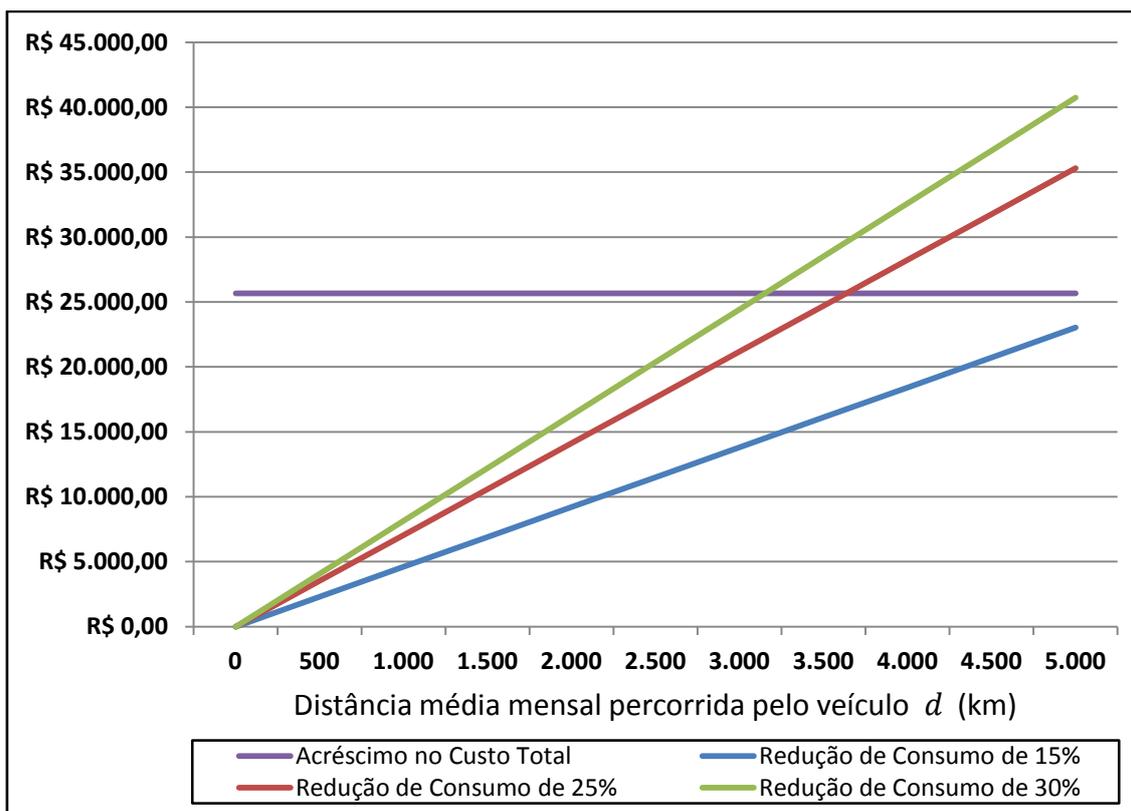
Para este cenário, os valores das distâncias, a partir das quais a introdução da tecnologia híbrida diesel-hidráulica em um veículo de coleta de resíduos é viável, estão apresentadas na tabela 122.

**Tabela 122: Valores de distância viável para a introdução do sistema híbrido – cenário B.1**

CRÉDITO DE CARBONO		DISTÂNCIA VIÁVEL		
VENDA	VALOR DO CRÉDITO	$i_{\text{cons}} = 15\%$	$i_{\text{cons}} = 25\%$	$i_{\text{cons}} = 30\%$
NÃO	-	5.573,47 km	3.634,87 km	3.150,22 km
SIM	R\$ 8,46	5.508,70 km	3.592,63 km	3.113,61 km
SIM	R\$ 51,90	5.198,49 km	3.390,32 km	2.938,28 km

Fonte: Elaboração do autor

Com o mesmo procedimento realizado no cenário A.1, tomando-se por base a tabela de redução total no custo de operação do veículo, constante do Apêndice XXI, considerando-se o acréscimo no custo total devido à aquisição do sistema híbrido, constrói-se o gráfico da figura 88.

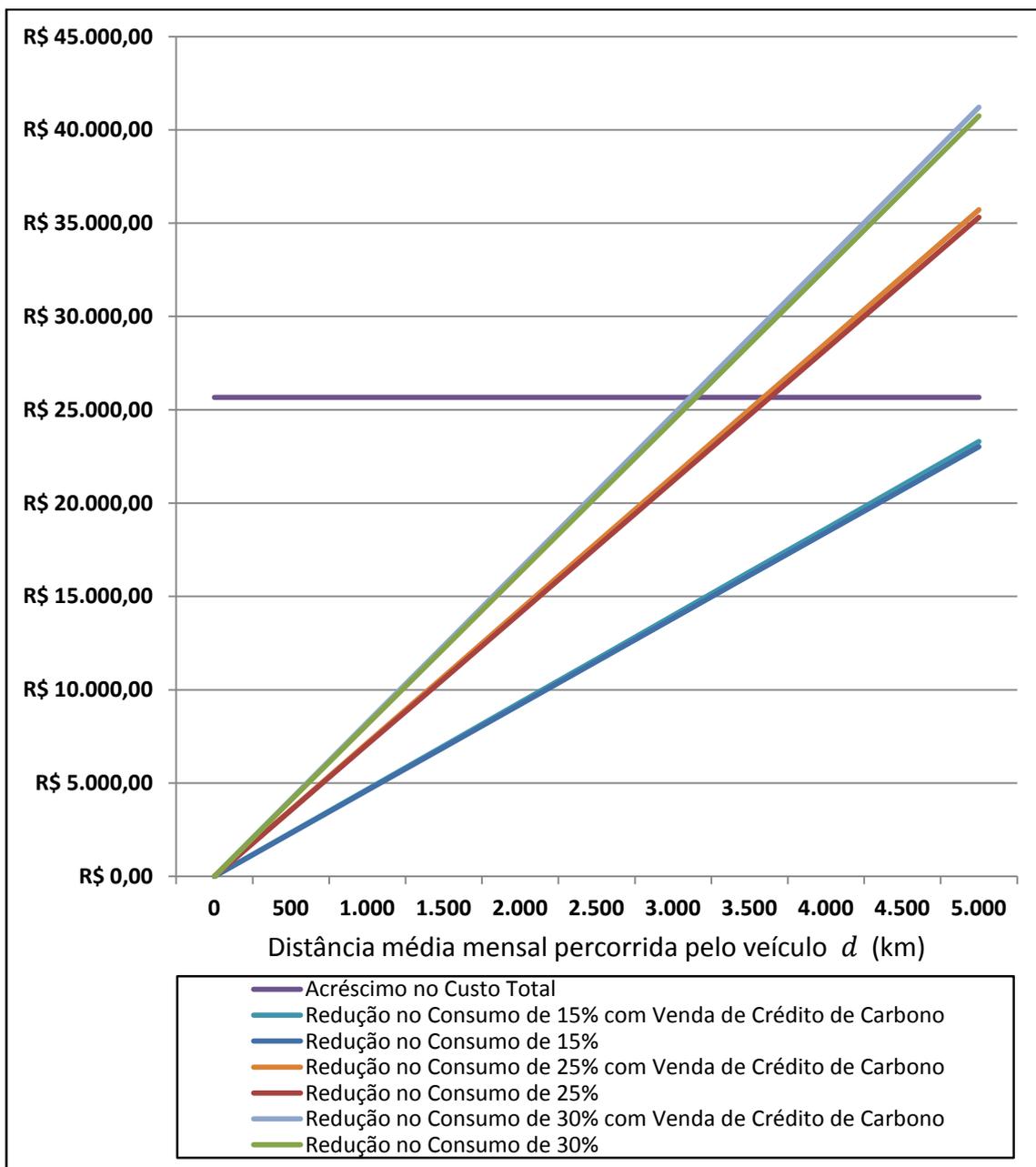


**Figura 88 - Gráfico de análise da viabilidade financeira para o cenário B.1**

Fonte: Elaboração do autor

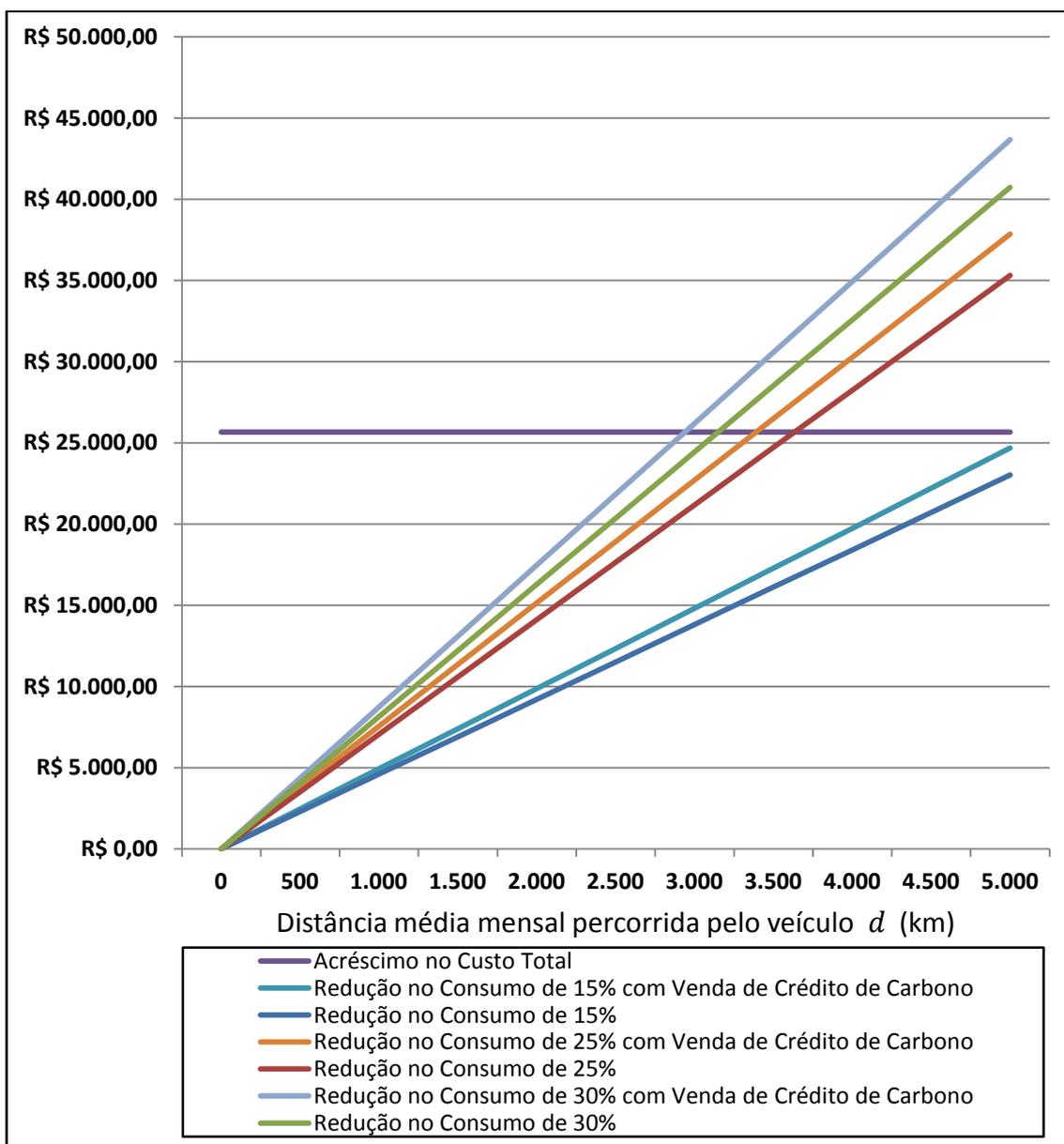
No gráfico, os pontos onde as linhas de redução total no custo de operação cruzam a reta de acréscimo no custo total determinam os valores encontrados anteriormente para as distâncias a partir das quais o sistema híbrido é viável. O não cruzamento indica que não há uma distância mínima em que a instalação do sistema é viável no intervalo de distâncias considerado.

O gráfico da figura 89 foi construído nos moldes do gráfico da figura 88, porém, considerando-se a venda de crédito de carbono a R\$ 8,46 por tonelada de carbono.



**Figura 89: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**  
 Fonte: Elaboração do autor

Com o valor do crédito de carbono de R\$ 51,90, constrói-se o gráfico apresentado na figura 90:



**Figura 90 - Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

Fonte: Elaboração do autor

Da mesma forma que no gráfico da figura 88, nos gráficos das figuras 89 e 90, os pontos onde as linhas de redução total no custo de operação cruzam a reta de acréscimo no custo total determinam os valores encontrados anteriormente para as distâncias, com ou sem a venda de crédito de carbono, a partir das quais o sistema híbrido é viável. E, ainda, para a linha de redução no consumo de 15% não há uma distância mínima em que o sistema é viável no intervalo de distâncias considerado.

#### 4.1.4.3.4. Cenário B.2: T = 4 anos e $i_D = 0,056$ (5,6%)

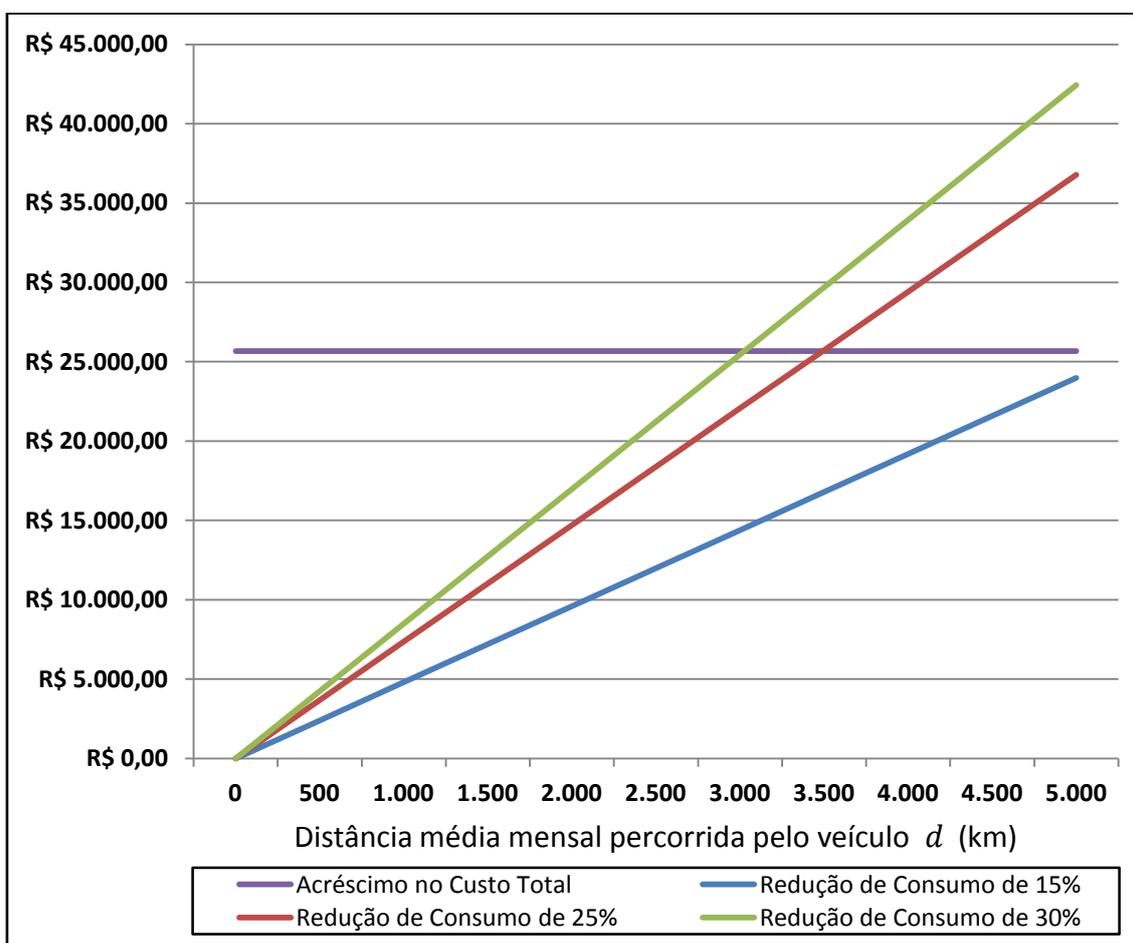
Para este cenário, os valores das distâncias, a partir das quais a introdução da tecnologia híbrida diesel-hidráulica em um veículo de coleta de resíduos é viável, estão apresentadas na tabela 123.

**Tabela 123: Valores de distância viável para a introdução do sistema híbrido – cenário B.2**

CRÉDITO DE CARBONO		DISTÂNCIA VIÁVEL		
VENDA	VALOR DO CRÉDITO	$i_{\text{cons}} = 15\%$	$i_{\text{cons}} = 25\%$	$i_{\text{cons}} = 30\%$
NÃO	-	5.350,95 km	3.489,75 km	3.024,45 km
SIM	R\$ 8,46	5.291,22 km	3.450,79 km	2.990,69 km
SIM	R\$ 51,90	5.004,38 km	3.263,73 km	2.828,56 km

Fonte: Elaboração do autor

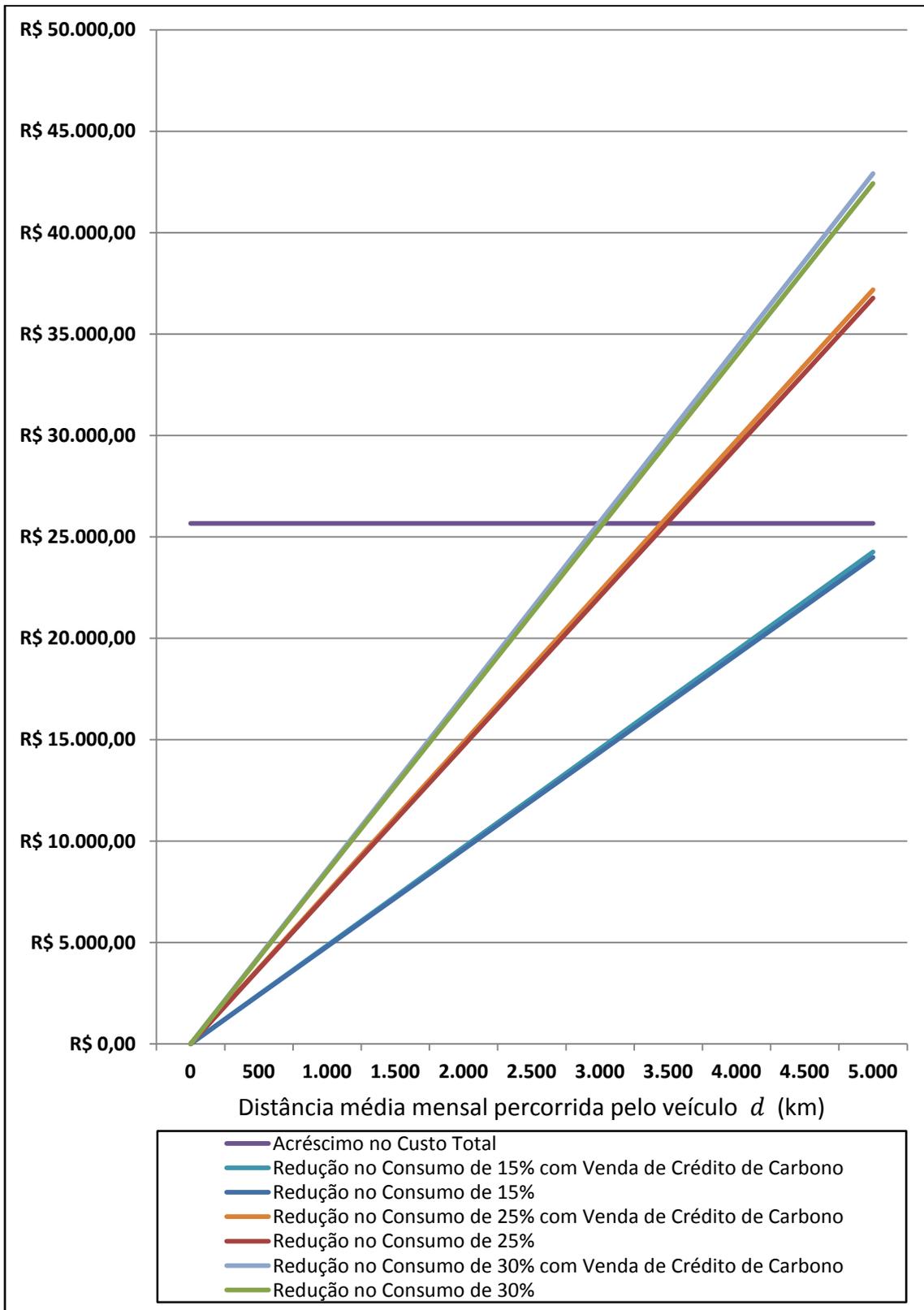
Do mesmo modo como foi feito no cenário A.2, representa-se essas distâncias no gráfico da figura 91.



**Figura 91: Gráfico de análise da viabilidade financeira para o cenário B.2**

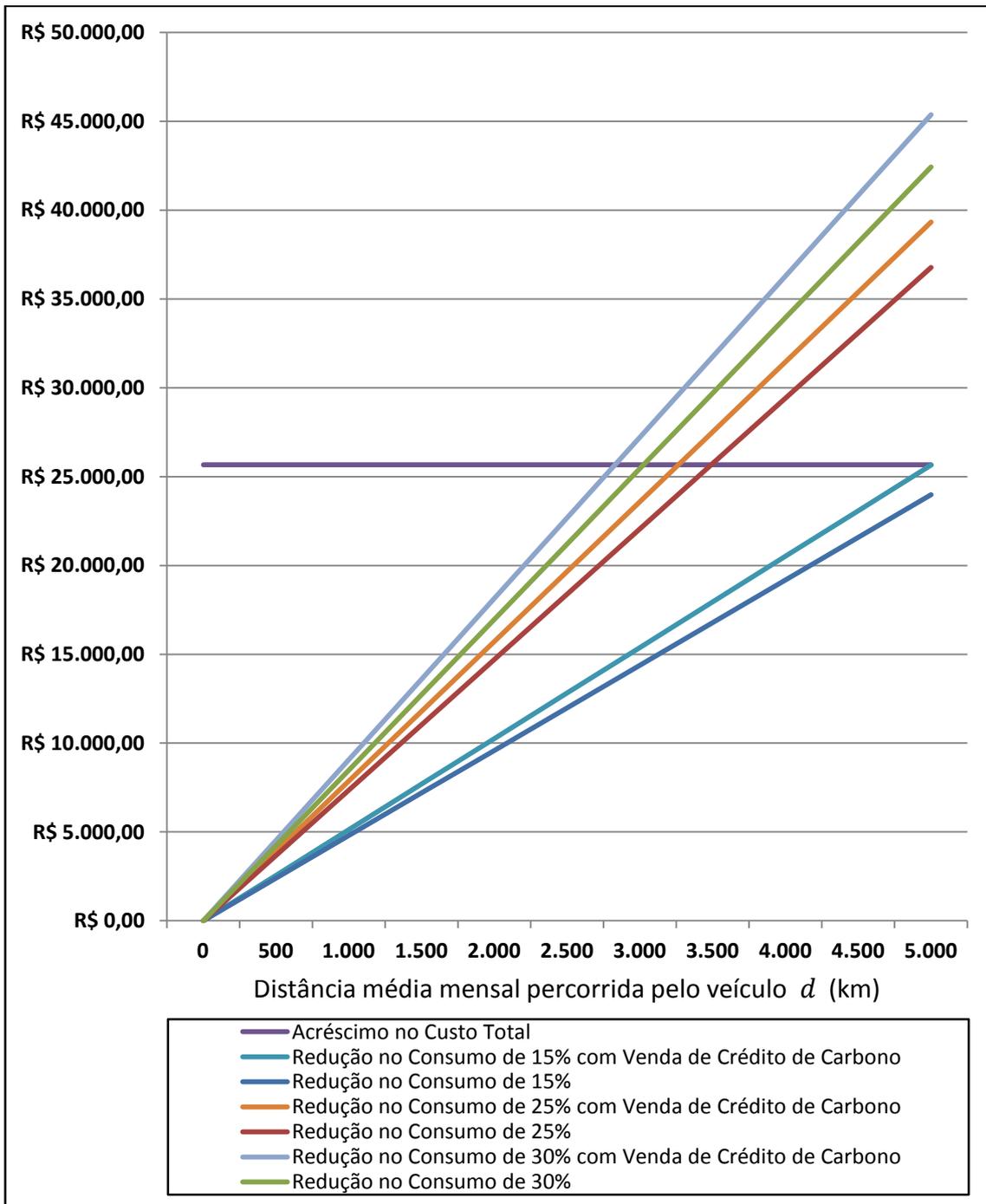
Fonte: Elaboração do autor

O gráfico da figura 92 foi construído nos moldes do gráfico da figura 91, porém, considerando-se a venda de crédito de carbono a R\$ 8,46 por tonelada de carbono.



**Figura 92: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**  
 Fonte: Elaboração do autor

Com o valor do crédito de carbono de R\$ 51,90, constrói-se o gráfico apresentado na figura 93:



**Figura 93: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda de crédito de carbono a R\$ 51,90**

Fonte: Elaboração do autor

Das figuras 92 e 93, verifica-se que todas as linhas de redução total no custo de operação conseguem cruzar a reta de acréscimo no custo total, com exceção da linha com taxa  $i_{\text{cons}}$  de 15%.

#### 4.1.4.3.5. Cenário C.1: T = 3 anos e $i_D = 0,027$ (2,7%)

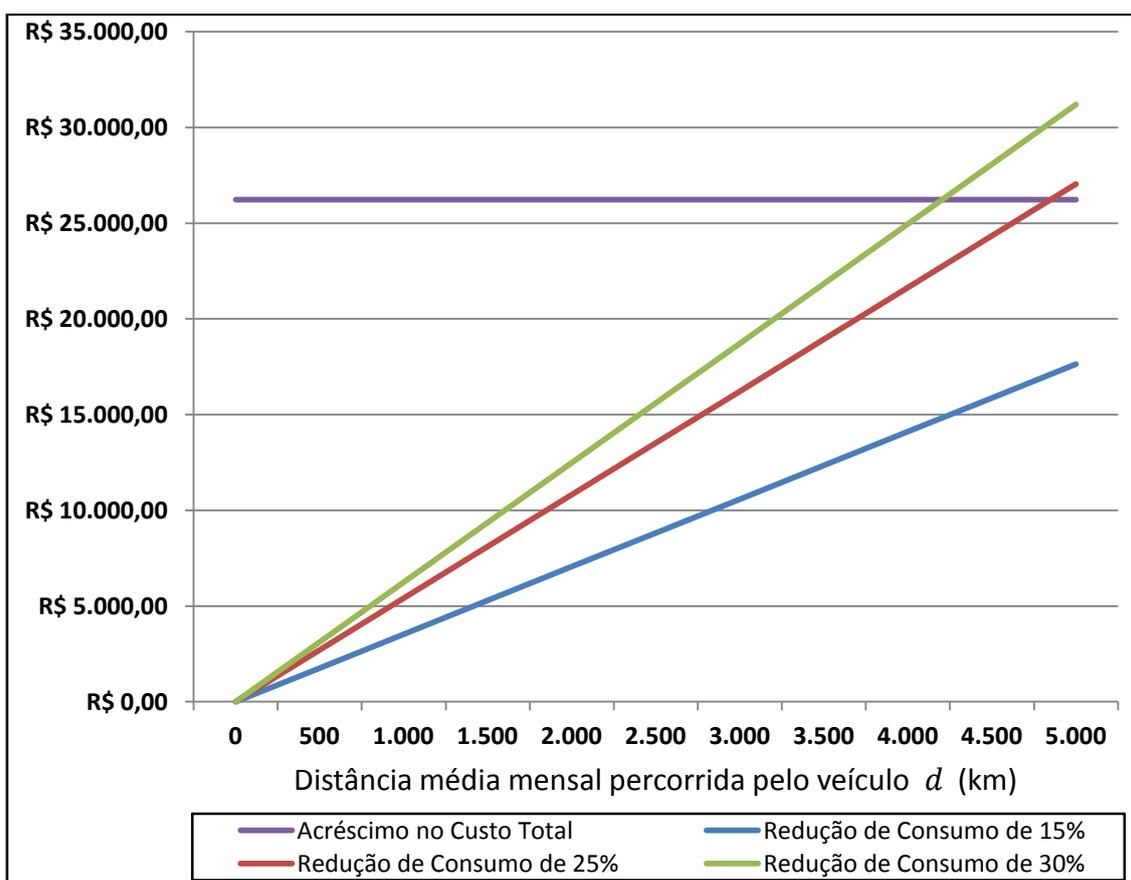
Para este cenário, os valores das distâncias, a partir das quais a introdução da tecnologia híbrida diesel-hidráulica em um veículo de coleta de resíduos é viável, estão apresentadas na tabela 124.

**Tabela 124: Valores de distância viável para a introdução do sistema híbrido – cenário C.1**

CRÉDITO DE CARBONO		DISTÂNCIA VIÁVEL		
VENDA	VALOR DO CRÉDITO	$i_{\text{cons}} = 15\%$	$i_{\text{cons}} = 25\%$	$i_{\text{cons}} = 30\%$
NÃO	-	7.434,86 km	4.848,82 km	4.202,31 km
SIM	R\$ 8,46	7.347,39 km	4.791,78 km	4.152,87 km
SIM	R\$ 51,90	6.928,81 km	4.518,79 km	3.916,29 km

Fonte: Elaboração do autor

Com base na tabela de redução total no custo de operação do veículo, constante do Apêndice XXIV, e no acréscimo no custo total devido à aquisição do sistema híbrido, constrói-se o gráfico da figura 94.

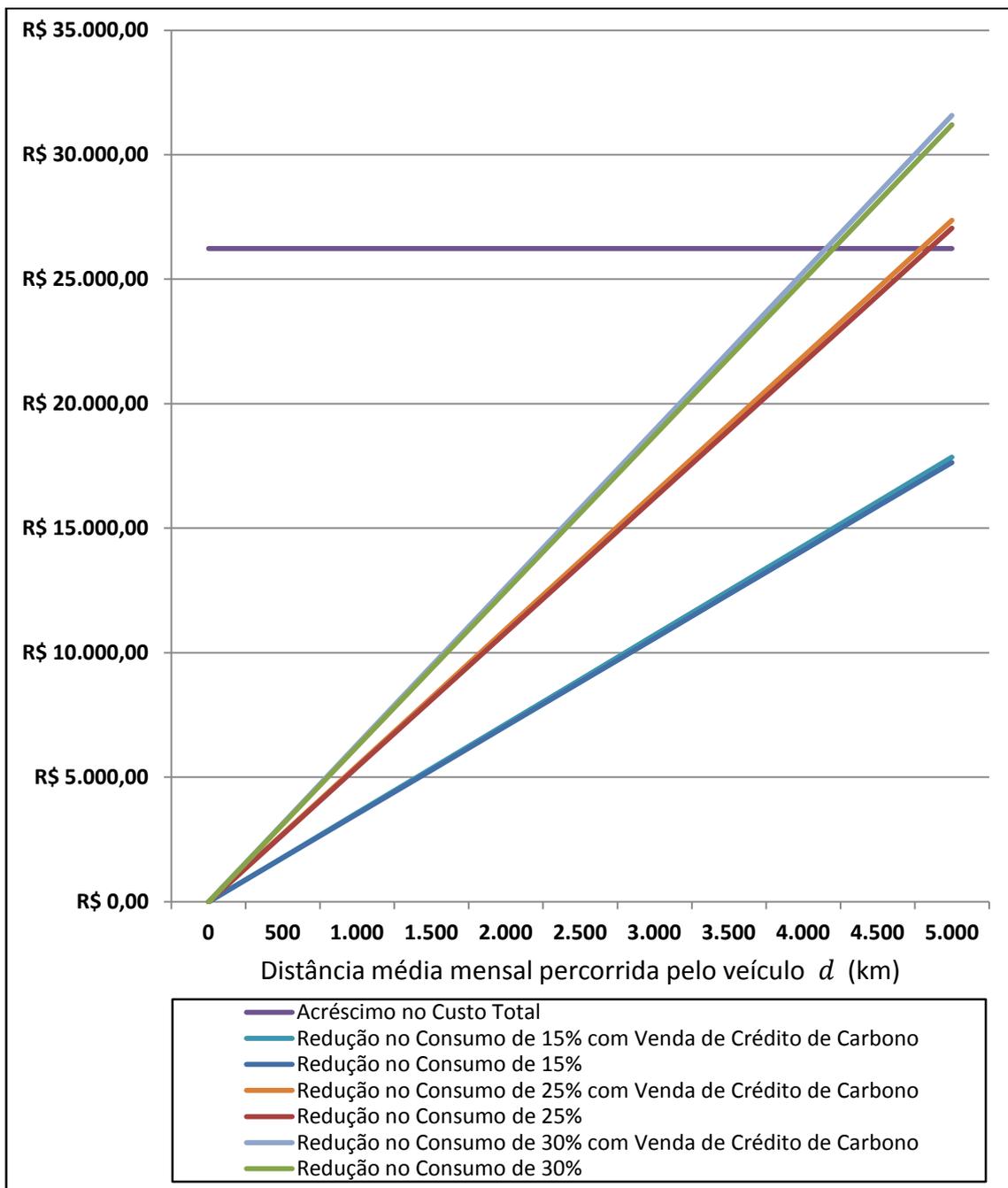


**Figura 94: Gráfico de análise da viabilidade financeira para o cenário C.1**

Fonte: Elaboração do autor

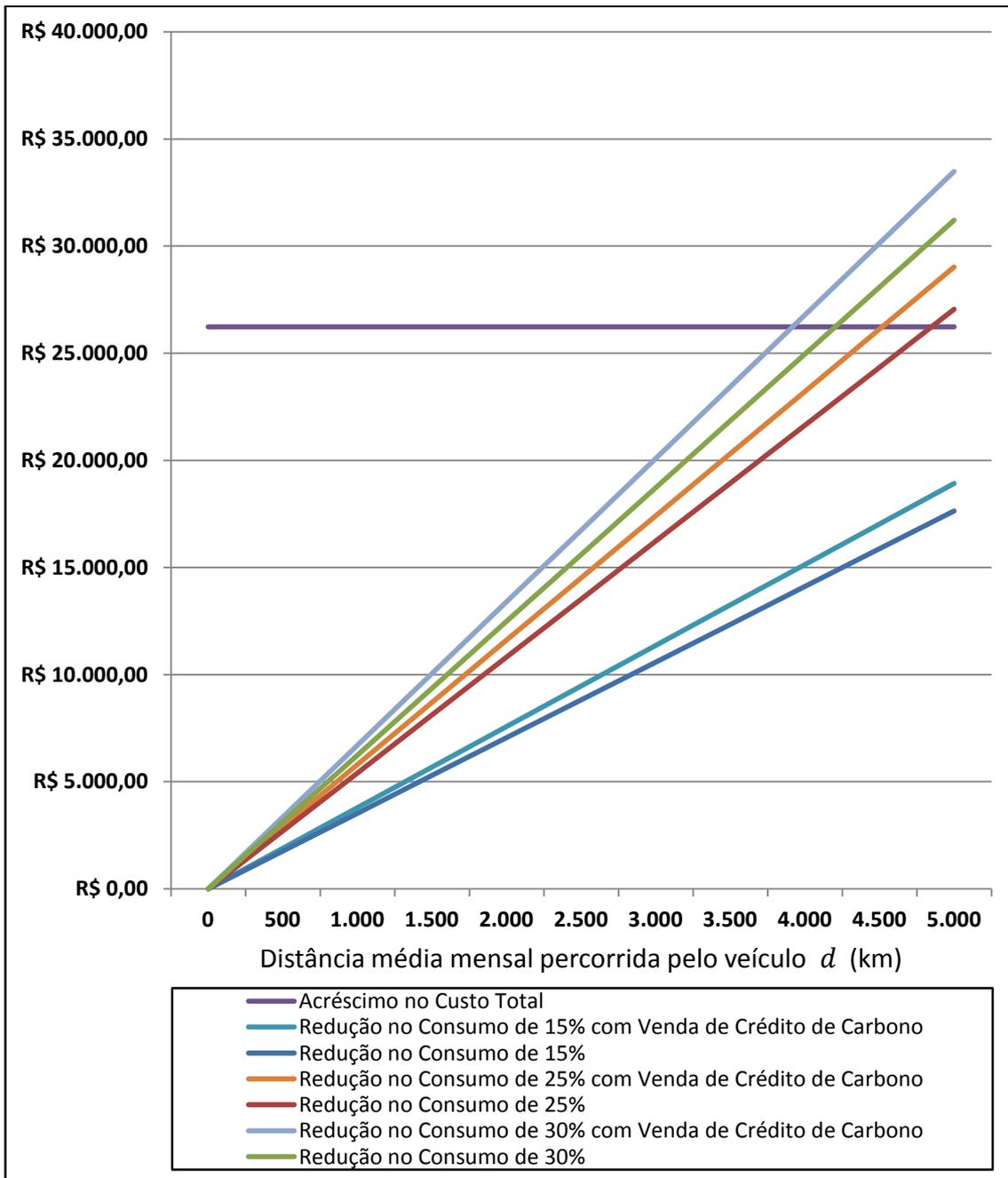
No gráfico, os pontos onde as linhas de redução total no custo de operação cruzam a reta de acréscimo no custo total determinam os valores encontrados anteriormente para as distâncias viáveis em que a introdução do sistema híbrido no veículo é viável, considerando o intervalo definido de distâncias médias percorridas pelo veículo.

O gráfico da figura 95 foi construído nos moldes do gráfico da figura 94, porém, considerando-se a venda de crédito de carbono a R\$ 8,46 por tonelada de carbono.



**Figura 95: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**  
 Fonte: Elaboração do autor

Com o valor do crédito de carbono de R\$ 51,90, constrói-se o gráfico apresentado na figura 96:



**Figura 96: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

Fonte: Elaboração do autor

Da mesma forma que no gráfico da figura 94, nos gráficos das figuras 95 e 96, somente as linhas de redução total no custo de operação para as taxas  $i_{\text{cons}}$  de 25% e 30% cruzam a reta de acréscimo no custo total, determinando os valores encontrados anteriormente para as distâncias viáveis, considerando-se a venda de crédito de carbono.

#### 4.1.4.3.6. Cenário C.2: T = 3 anos e $i_D = 0,056$ (5,6%)

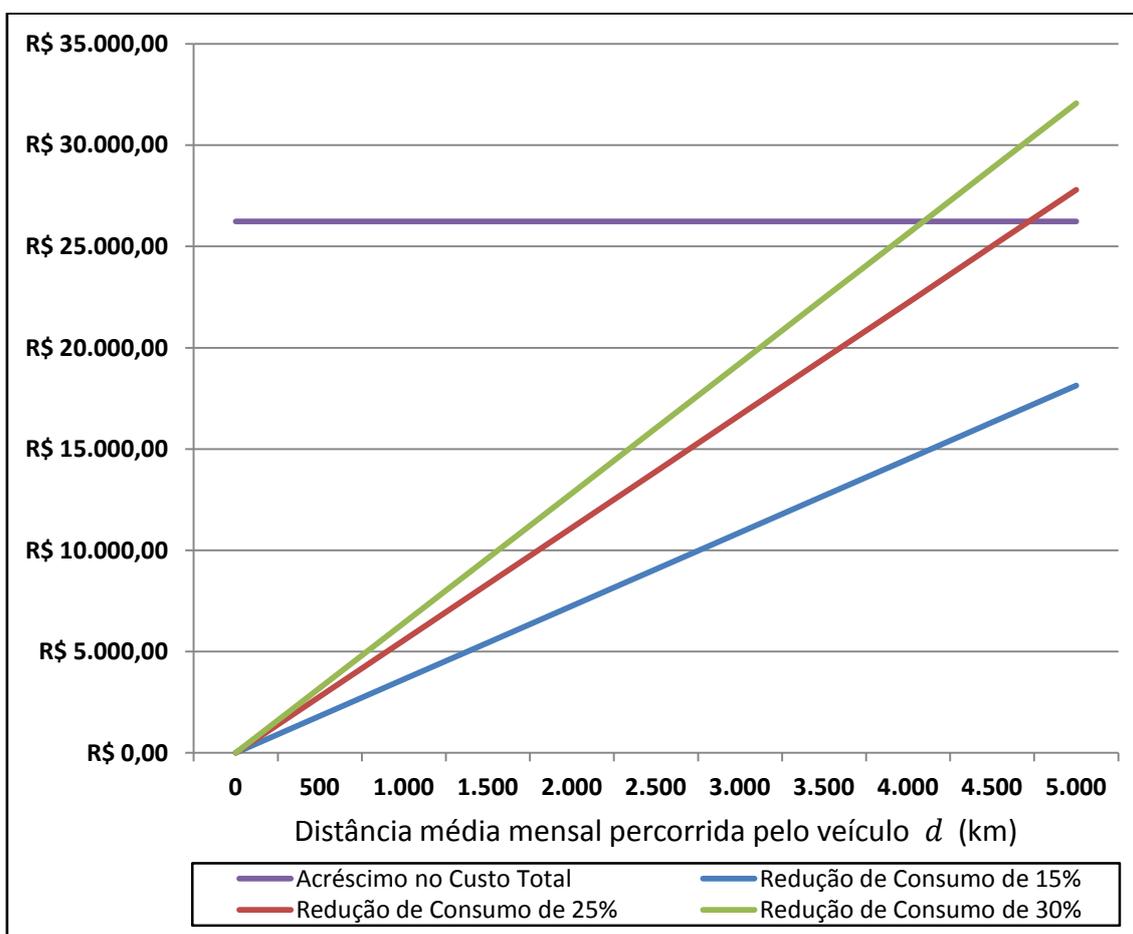
Para este cenário, os valores das distâncias, a partir das quais a introdução da tecnologia híbrida diesel-hidráulica em um veículo de coleta de resíduos é viável, estão apresentadas na tabela 125.

**Tabela 125: Valores de distância viável para a introdução do sistema híbrido – cenário C.2**

CRÉDITO DE CARBONO		DISTÂNCIA VIÁVEL		
VENDA	VALOR DO CRÉDITO	$i_{\text{cons}} = 15\%$	$i_{\text{cons}} = 25\%$	$i_{\text{cons}} = 30\%$
NÃO	-	7.234,64 km	4.718,24 km	4.089,14 km
SIM	R\$ 8,46	7.151,79 km	4.664,21 km	4.042,31 km
SIM	R\$ 51,90	6.754,60 km	4.405,17 km	3.817,81 km

Fonte: Elaboração do autor

Do mesmo modo como foi feito no cenário B.2, representa-se essas distâncias no gráfico da figura 97.



**Figura 97: Gráfico de análise da viabilidade financeira para o cenário C.2**

Fonte: Elaboração do autor

O gráfico da figura 98 foi construído nos moldes do gráfico da figura 97, porém, considerando-se a venda de crédito de carbono a R\$ 8,46 por tonelada de carbono.

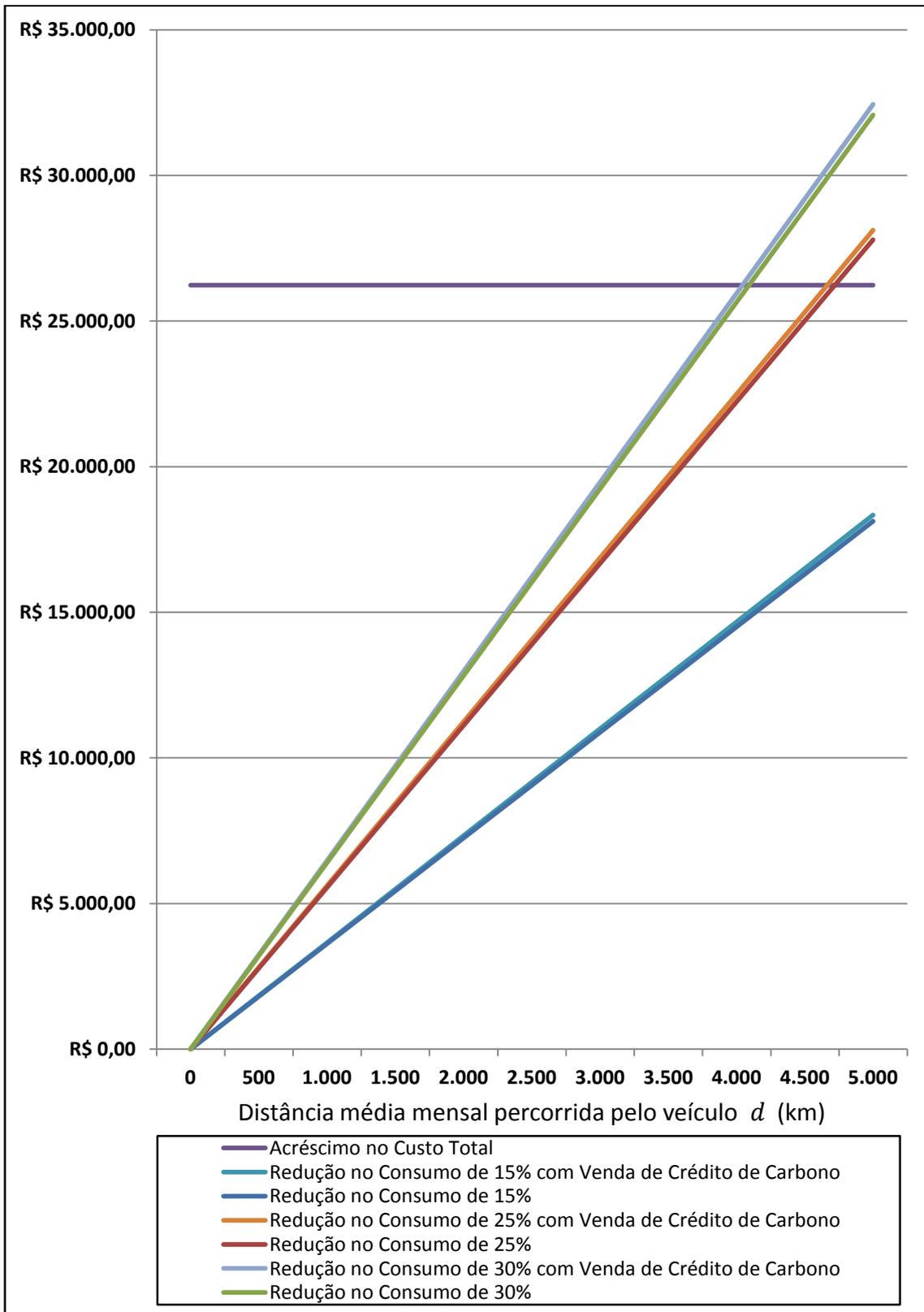
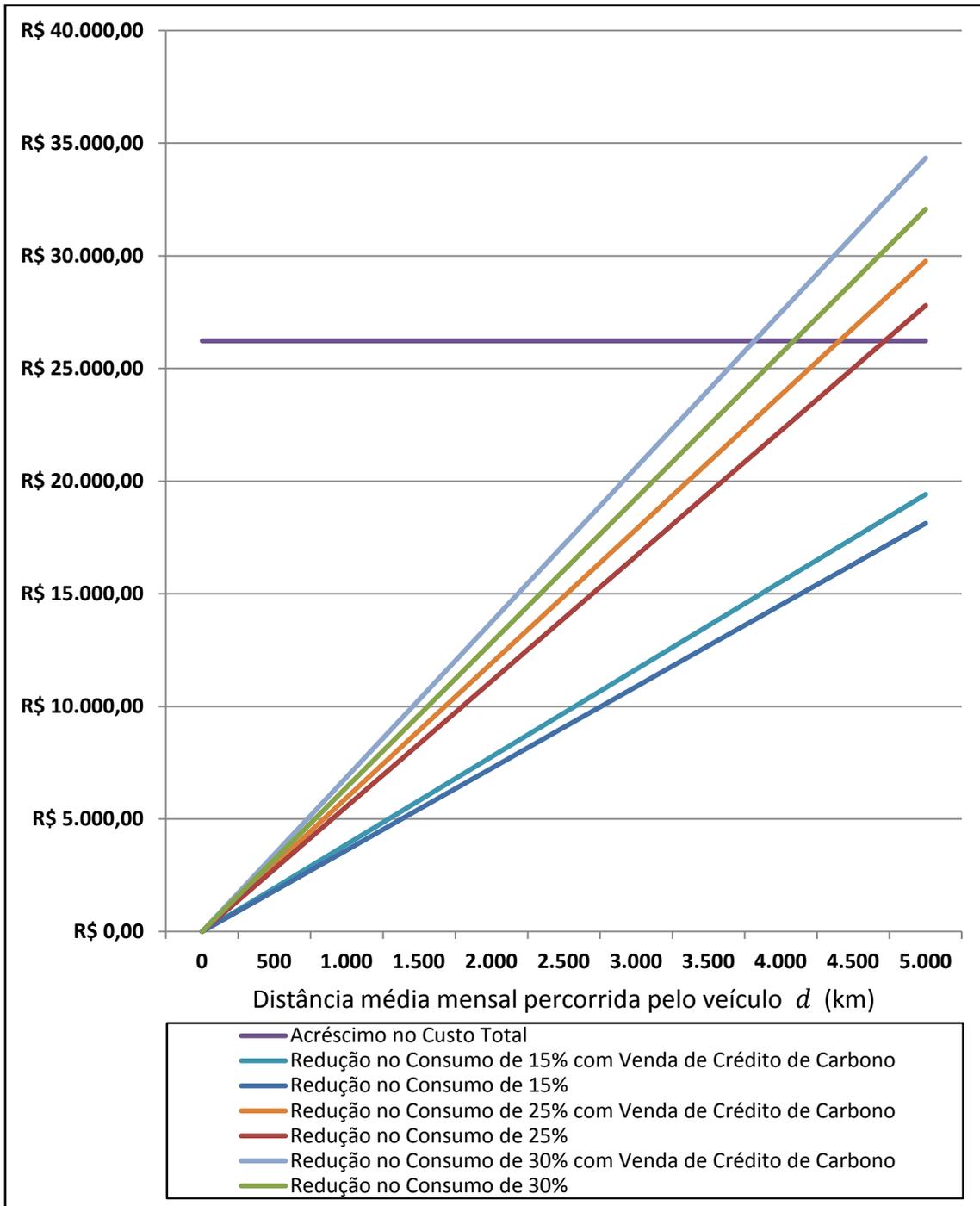


Figura 98: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46  
 Fonte: Elaboração do autor

Com esse valor do crédito de carbono, constrói-se o gráfico apresentado na figura 99:



**Figura 99: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda de crédito de carbono a R\$ 51,90**

Fonte: Elaboração do autor

Da mesma forma que no gráfico da figura 97, nos gráficos das figuras 98 e 99, somente as linhas de redução total no custo de operação para as taxas  $i_{\text{cons}}$  de 25% e 30% cruzam a reta de acréscimo no custo total, determinando os valores encontrados anteriormente para as distâncias viáveis, considerando-se a venda de crédito de carbono.

#### 4.1.4.3.7. Cenário D.1: T = 2 anos e $i_D = 0,027$ (2,7%)

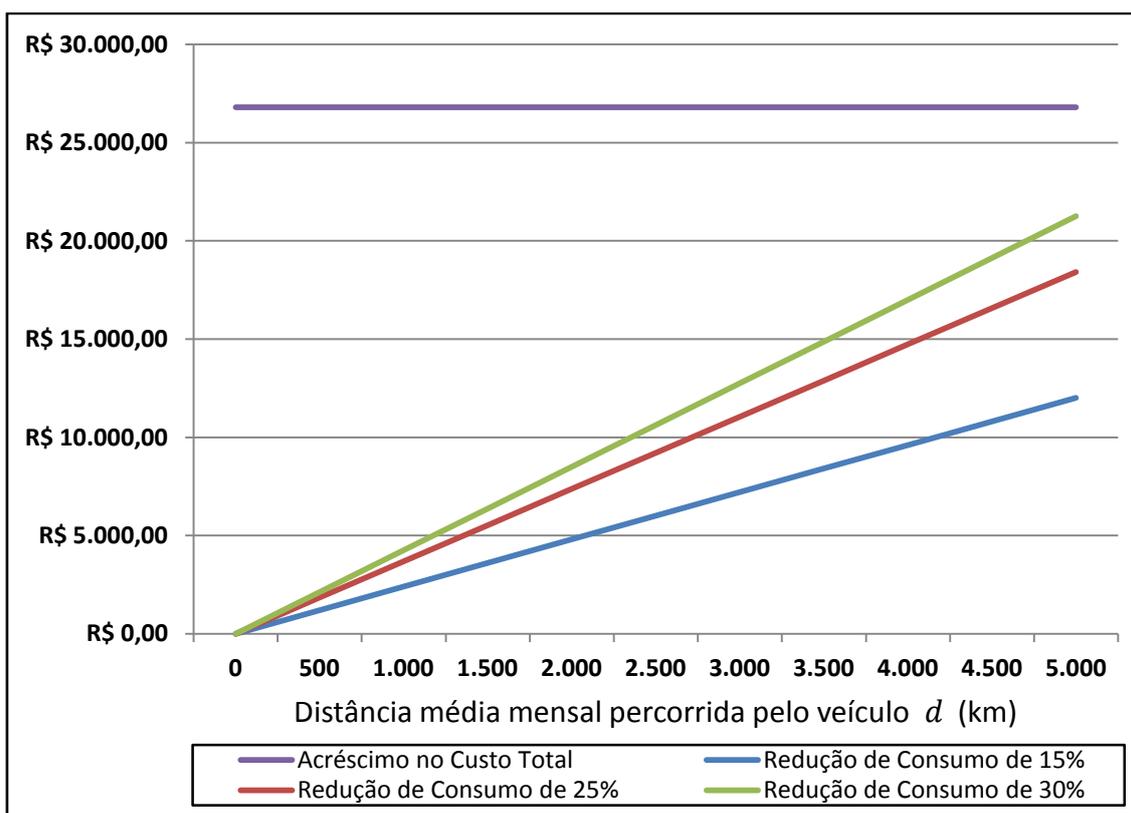
Para este cenário, os valores das distâncias, a partir das quais a introdução da tecnologia híbrida diesel-hidráulica em um veículo de coleta de resíduos é viável, estão apresentadas na tabela 126.

**Tabela 126: Valores de distância viável para a introdução do sistema híbrido – cenário D.1**

CRÉDITO DE CARBONO		DISTÂNCIA VIÁVEL		
VENDA	VALOR DO CRÉDITO	$i_{\text{cons}} = 15\%$	$i_{\text{cons}} = 25\%$	$i_{\text{cons}} = 30\%$
NÃO	-	11.156,94 km	7.276,27 km	6.306,10 km
SIM	R\$ 8,46	11.024,02 km	7.189,58 km	6.230,97 km
SIM	R\$ 51,90	10.388,52 km	6.775,12 km	5.871,77 km

Fonte: Elaboração do autor

Do mesmo modo como foi feito nos cenários anteriores, com base na tabela de redução total no custo de operação do veículo, constante do Apêndice XXVII, e considerando-se o acréscimo no custo total devido à aquisição do sistema híbrido, constrói-se o gráfico da figura 100.

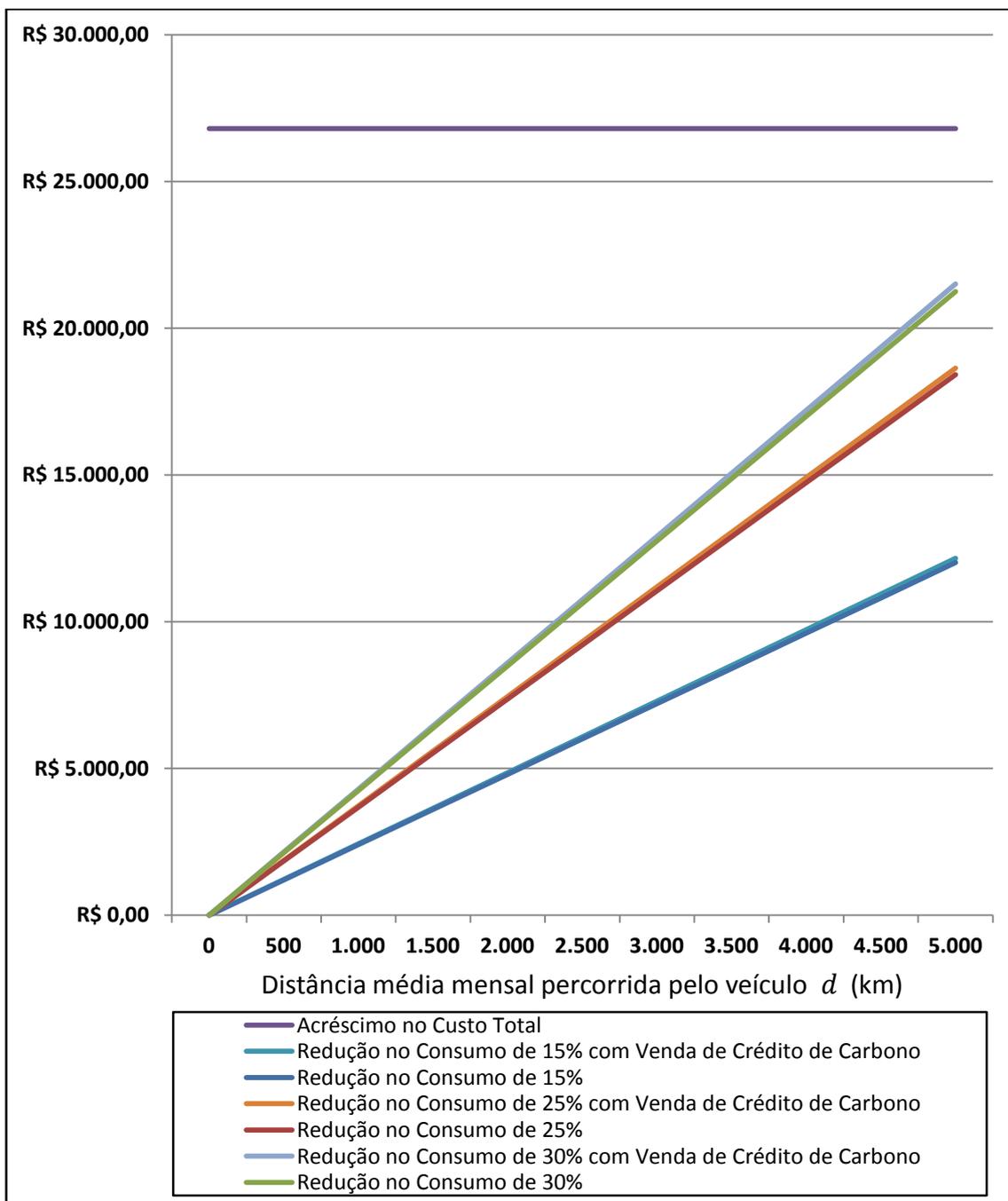


**Figura 100 - Gráfico de análise da viabilidade financeira para o cenário D.1**

Fonte: Elaboração do autor

Como esperado, as linhas de redução total no custo de operação não cruzam com a reta de acréscimo no custo total, pois não há retorno financeiro para o cenário considerado, conforme mostrado nas tabelas de retorno financeiro, constantes do Apêndice XXVII.

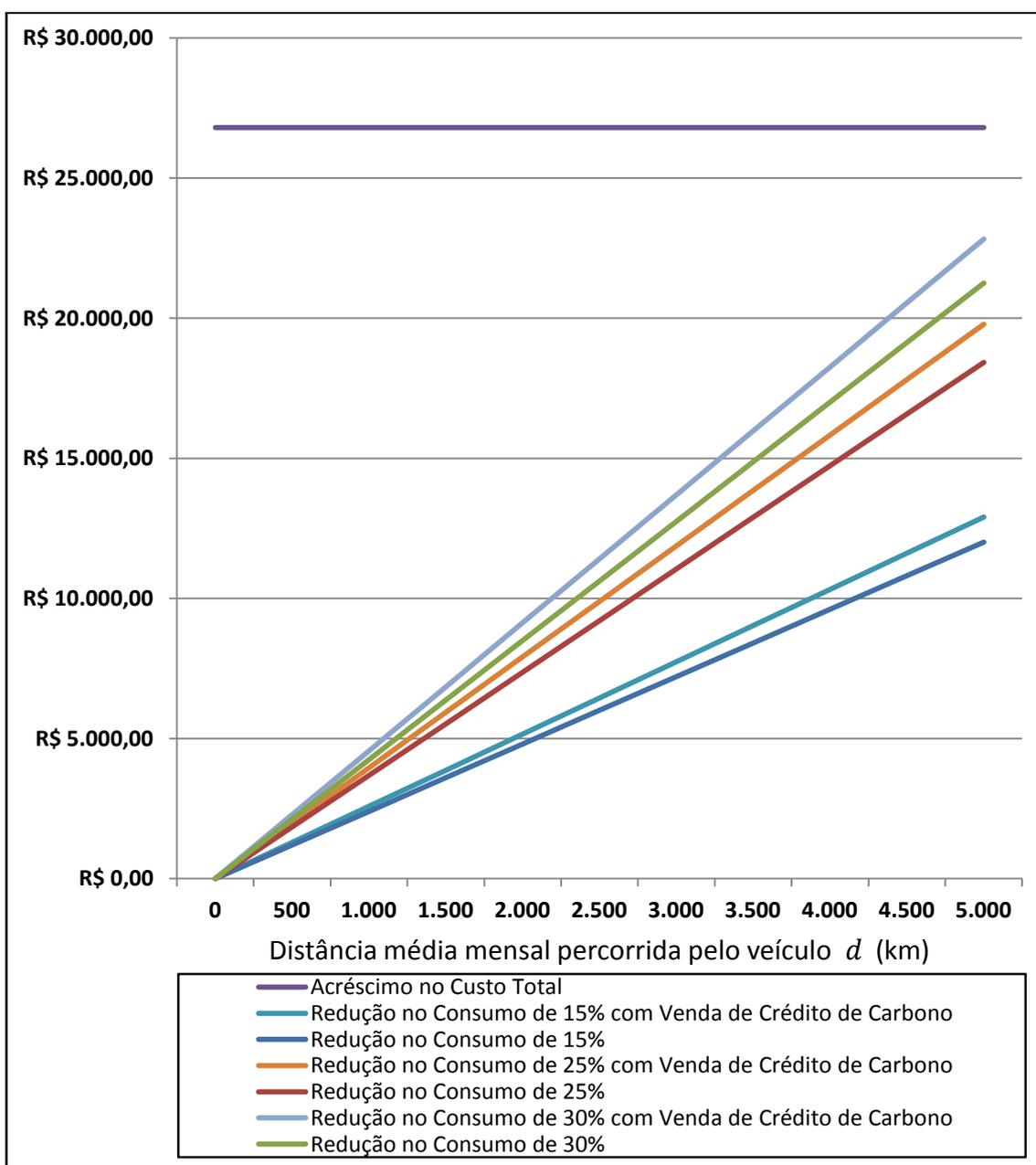
O gráfico da figura 101 foi construído nos moldes do gráfico da figura 100, porém, considerando-se a venda de crédito de carbono a R\$ 8,46 por tonelada de carbono.



**Figura 101: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

Fonte: Elaboração do autor

Com o valor do crédito de carbono de R\$ 51,90, constrói-se o gráfico apresentado na figura 102:



**Figura 102: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

Fonte: Elaboração do autor

Da mesma forma que no gráfico da figura 100, nos gráficos das figuras 101 e 102, as linhas de redução total no custo de operação não cruzam a reta de acréscimo no custo total, visto que não há retorno financeiro, mesmo considerando a venda de crédito de carbono, conforme visto nas tabelas de retorno financeiro, constantes do Apêndice XXVII.

#### 4.1.4.3.8. Cenário D.2: T = 2 anos e $i_D = 0,056$ (5,6%)

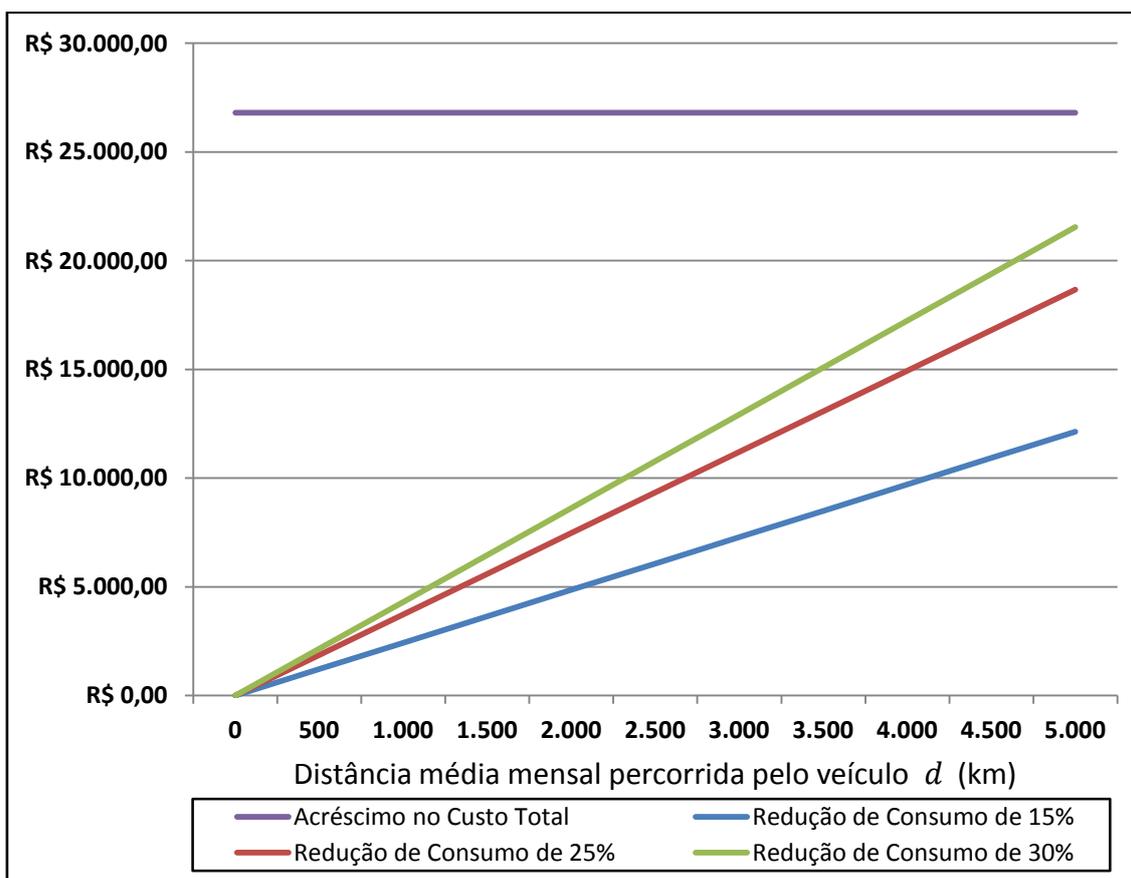
Para este cenário, os valores das distâncias, a partir das quais a introdução da tecnologia híbrida diesel-hidráulica em um veículo de coleta de resíduos é viável, estão apresentadas na tabela 127.

**Tabela 127: Valores de distância viável para a introdução do sistema híbrido – cenário D.2**

CRÉDITO DE CARBONO		DISTÂNCIA VIÁVEL		
VENDA	VALOR DO CRÉDITO	$i_{\text{cons}} = 15\%$	$i_{\text{cons}} = 25\%$	$i_{\text{cons}} = 30\%$
NÃO	-	11.004,93 km	7.177,13 km	6.220,18 km
SIM	R\$ 8,46	10.875,59 km	7.092,78 km	6.147,07 km
SIM	R\$ 51,90	10.256,60 km	6.689,09 km	5.797,21 km

Fonte: Elaboração do autor

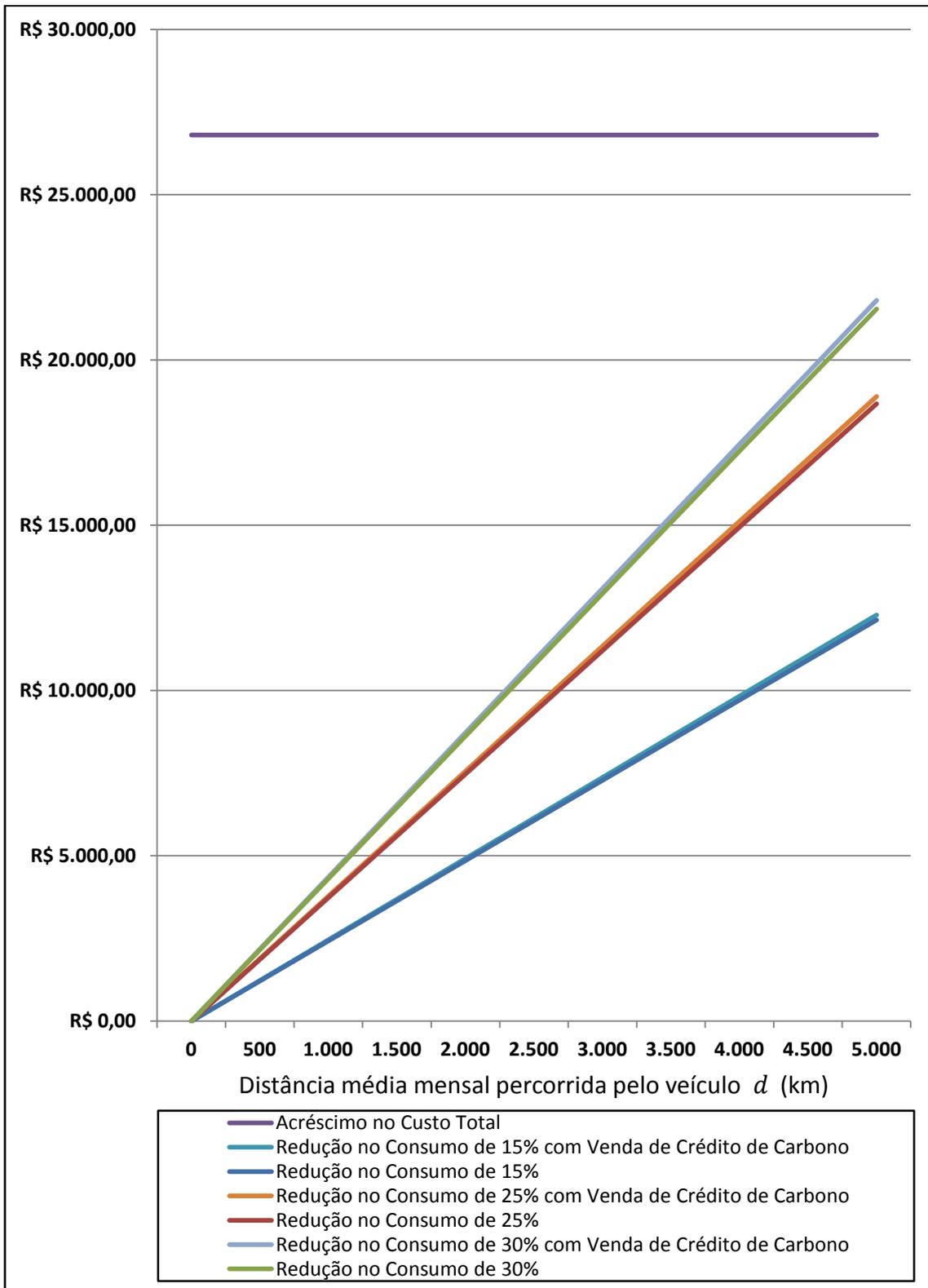
Com base na tabela de redução total no custo de operação do veículo, constante do Apêndice II, e considerando-se o acréscimo no custo total devido à aquisição do sistema híbrido, constrói-se o gráfico da figura 103.



**Figura 103: Gráfico de análise da viabilidade financeira para o cenário D.2**

Fonte: Elaboração do autor

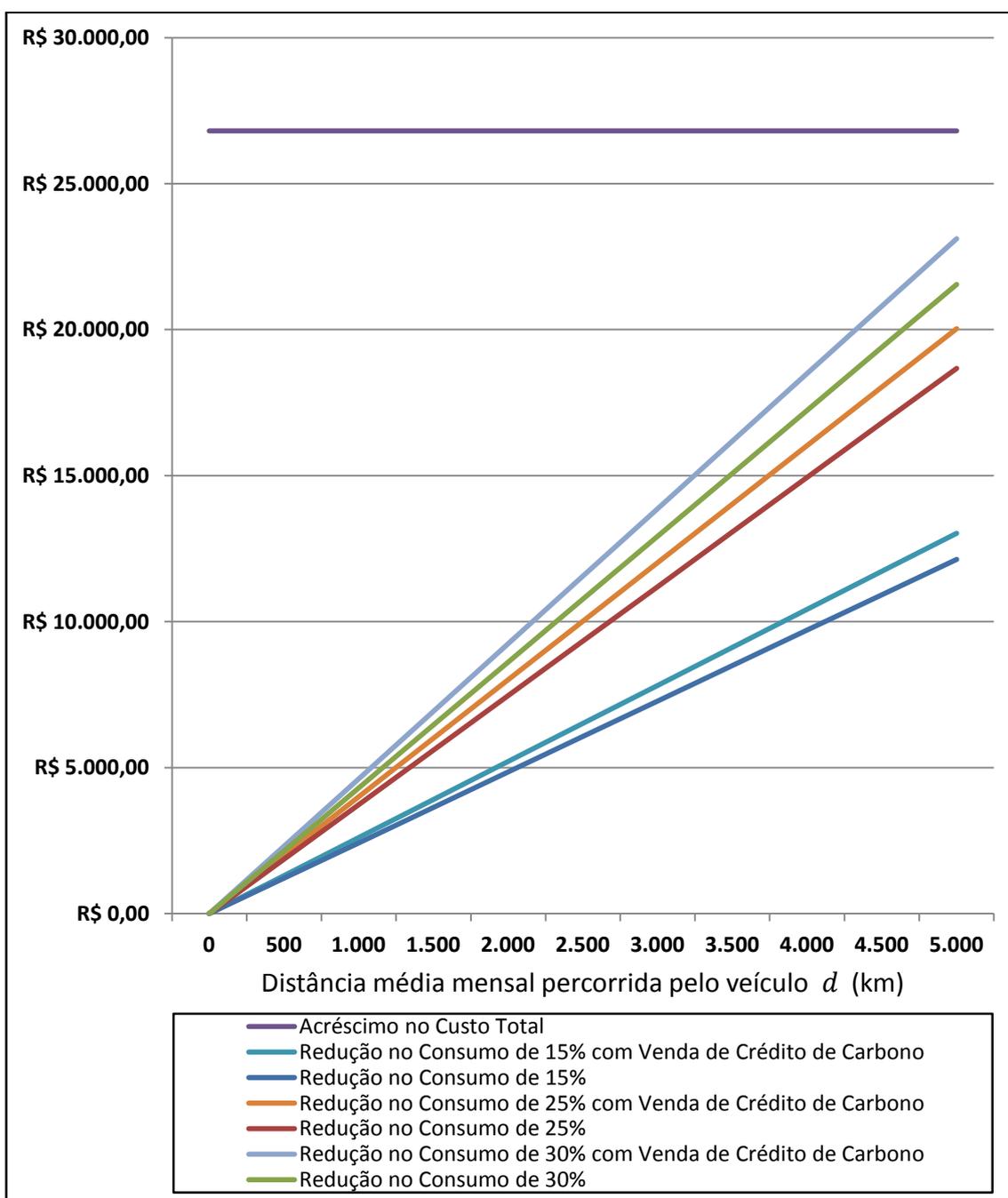
O gráfico da figura 104 foi construído nos moldes do gráfico da figura 103, porém, considerando-se a venda de crédito de carbono a R\$ 8,46 por tonelada de carbono.



**Figura 104: Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

Fonte: Elaboração do autor

Com o valor do crédito de carbono de R\$ 51,90, constrói-se o gráfico apresentado na figura 105:



**Figura 105 - Gráfico de viabilidade financeira considerando a venda de crédito de carbono a R\$ 51,90**

Fonte: Elaboração do autor

Da mesma forma que no gráfico da figura 103, nos gráficos das figuras 104 e 105, as linhas de redução total no custo de operação não cruzam a reta de acréscimo no custo total, visto que não há retorno financeiro, mesmo considerando a venda de crédito de carbono.

#### 4.1.4.3.9. Compilação de resultados para a realidade operacional do veículo

Da tabela 9, extrai-se que a distância média mensal percorrida pelo veículo com compactador de 10 m<sup>3</sup> é de 4.620 km. Assim, para esse valor e considerando-se os procedimentos realizados na aplicação do método para análise financeira, bem como todos os oito cenários abordados anteriormente, são apresentadas na tabela 128 os valores do retorno financeiro obtido com a instalação do sistema híbrido hidráulico.

**Tabela 128: Retorno financeiro**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>R<sub>PB15%</sub></b>	<b>R<sub>PB25%</sub></b>	<b>R<sub>PB30%</sub></b>
A.1	922,41	14.812,31	20.955,92
A.2	1.654,89	15.935,45	22.251,85
B.1	-4.943,65	6.109,02	10.997,70
B.2	-4.081,82	7.430,50	12.522,49
C.1	-9.930,02	-1.237,75	2.606,92
C.2	-9.478,96	-546,11	3.404,95
D.1	-15.704,34	-9.784,83	-7.166,59
D.2	-15.590,15	-9.549,76	-6.895,35

Fonte: Elaboração do autor

Considerando-se a venda de crédito de carbono, são construídas as tabelas 129 e 130, para valores do crédito iguais a R\$ 8,46 e R\$ 51,90, respectivamente.

**Tabela 129: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 8,46</b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>R<sub>PB15%</sub></b>	<b>R<sub>PB25%</sub></b>	<b>R<sub>PB30%</sub></b>
A.1	1.217,06	15.264,11	21.477,23
A.2	1.949,54	16.387,25	22.773,16
B.1	-4.699,98	6.482,65	11.428,81
B.2	-3.838,14	7.804,13	12.953,60
C.1	-9.741,03	-947,96	2.941,29
C.2	-9.289,96	-256,32	3.739,33
D.1	-15.573,99	-9.584,96	-6.935,97
D.2	-15.459,80	-9.349,89	-6.664,73

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 130: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 51,90</b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>R<sub>PB15%</sub></b>	<b>R<sub>PB25%</sub></b>	<b>R<sub>PB30%</sub></b>
A.1	2.730,03	17.584,01	24.154,03
A.2	3.462,52	18.707,15	25.449,96
B.1	-3.448,79	8.401,14	13.642,46
B.2	-2.586,95	9.722,63	15.167,25
C.1	-8.770,60	540,03	4.658,20
C.2	-8.319,53	1.231,67	5.456,24
D.1	-14.904,68	-8.558,68	-5.751,80
D.2	-14.790,49	-8.323,61	-5.480,56

Fonte: Elaboração do autor

## 4.2. APLICAÇÃO DO MÉTODO PARA ANÁLISE AMBIENTAL

Para a avaliação ambiental da tecnologia híbrida diesel-hidráulica, foram consideradas as reduções na emissão de poluentes atmosféricos alcançadas pela economia de combustível obtida com a utilização do sistema híbrido. Além de contemplar o veículo com compactador de 19 m<sup>3</sup>, a análise dos benefícios ambientais foi extrapolada para toda a frota da COMLURB, que também forneceu os dados necessários dos demais veículos de sua frota para que fosse possível proceder a esse estudo de viabilidade. Para isso, considerou-se uma situação hipotética de toda a frota ser equipada com um sistema híbrido hidráulico, não necessariamente o HRB, mas que trouxesse uma economia de combustível semelhante àquela alcançada pelo veículo com compactador de 19 m<sup>3</sup>.

### 4.2.1. Dados gerais

O método desenvolvido neste trabalho considerou quatro tipos de poluentes atmosféricos para o estudo da viabilidade ambiental. São eles: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), hidrocarbonetos não metânicos (HCNM) e materiais particulados (MP). Para isso, foram utilizados dados de emissões, as quais foram medidas em unidade de massa do poluente gerado por unidade de trabalho realizado pelo motor ( $g_{\text{poluente}}/\text{kWh}$ ), e que se encontram expressas na tabela 131. Esses valores foram obtidos do Relatório de Qualidade do Ar do Estado de São Paulo, de 2009, e foram gerados nos ensaios de homologação de veículos movidos a óleo diesel, segundo os ciclos firmados nas normas técnicas ABNT - NBR 14489 e ABNT - NBR 15634 (MMA, 2011).

**Tabela 131: Fatores de emissão em  $g_{\text{poluente}}/\text{kWh}$**

<b>CO</b>	<b>HCNM</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>MP</b>
0,83	0,16	1,80	0,018

Fonte: Elaboração do autor baseado em MMA (2011)

O Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) foi instituído pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), em 1986, com abrangência nacional. Ele define um cronograma de redução gradual de emissões de poluentes gerados por veículos leves (automóveis) e pesados (ônibus e caminhões).

Baseando-se em experiências internacionais de sucesso, o programa traça procedimentos adaptados às condições e necessidades do Brasil, para que novas tecnologias sejam implementadas no intuito de se reduzir efetivamente a emissão de poluentes. Ainda, segundo o Instituto Estadual do Ambiente (INEA), o PROCONVE prevê a certificação de protótipos e linhas de produção, a autorização do órgão ambiental federal para a utilização de combustíveis alternativos e a proibição da comercialização de veículos que não estejam homologados dentro de suas exigências.

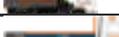
Os motores da fase PROCONVE P7 estão em vigor desde janeiro de 2012 (CNT, 2012). Considerando que os veículos híbridos diesel-hidráulicos ainda não se encontram disponíveis no mercado nacional, todos os caminhões que saírem de fábrica com esta tecnologia, estarão cumprindo as exigências da fase P7.

O valor de consumo específico dos motores da fase PROCONVE P7 corresponde a 210  $g_{\text{diesel}}/\text{kWh}$  (MMA, 2011). Este resultado foi obtido em ensaios de motores realizados pela Mercedes-Benz e fornecidos pela Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA).

Para a densidade do óleo diesel, considerou-se o valor de 0,82kg/l, que corresponde à densidade do diesel S-50, segundo a Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico (FISPQ), da empresa Petrobras Distribuidora (BR, 2011).

Para uma melhor aplicação do método, foram obtidos dados gerais, de motorização e operacionais de todos os veículos que compõem a frota da COMLURB. As tabelas 132, 133 e 134 apresentam essas informações.

Tabela 132: Dados gerais dos veículos da frota da COMLURB

DADOS GERAIS DOS VEÍCULOS				
IMAGEM	TIPO	CAPACIDADE DE CARGA (kg)	DESCRIÇÃO	UTILIZAÇÃO/APLICAÇÃO
	P2	15 passageiros	Micro-ônibus	Transporte de pessoas e ferramentas (em serviço)
	P5	3.000	Com mini compactador de 6m <sup>3</sup>	Coleta de resíduos em área residencial urbana
	P5A	5.500	2 eixos com compactador de 10m <sup>3</sup>	Coleta de resíduos em área residencial urbana
	P6	7.500	2 eixos com compactador de 15m <sup>3</sup>	Coleta de resíduos em área residencial urbana
	P7	12.000	3 eixos com compactador de 19m <sup>3</sup>	Coleta de resíduos em área residencial urbana
	P8	9.000	2 eixos com compactador de 7m <sup>3</sup>	Coleta de resíduos em área urbana pública
	P9	14.000	3 eixos com compactador de 12m <sup>3</sup>	Coleta de resíduos em área urbana pública
	P10	7.500	Poli-guindaste simples	Coleta concentrada de resíduos em área pública
	P10A	11.000	Poli-guindaste duplo	Coleta concentrada de resíduos em área pública
	P11	7.000 litros	Caminhão de água	Limpeza de praças e ruas
	P12	8.500	<i>Roll on / Roll off</i>	Coleta concentrada de resíduos em área pública
	P13	5.000	Caminhão para varredura	Limpeza de ruas, túneis e parques.
	P17	4.000	Caminhão com vagão metálico de 4m <sup>3</sup>	Transporte de materiais e móveis
	P19	26.000	Elevador do carro mecânico + semi-reboque	Transporte de resíduos de estações de lixo para aterros
	P25	12.000	3 eixos com super compactador de 19m <sup>3</sup>	Coleta especial de resíduos em área residencial ou pública urbana
	P26	1.500	Caminhão pequeno com caçamba de 3m <sup>3</sup>	Coleta especial de resíduos em área residencial ou pública em comunidades
	P27	4.500	Caminhão com caçamba de 3m <sup>3</sup>	Coleta de entulhos e sucatas domésticos
	P28	20m <sup>3</sup>	Caminhão com vagão fixo de 20m <sup>3</sup>	Coleta seletiva de lixo reciclável
	P29	7.000	Caminhão para meio container enterrado	Coleta concentrada de containers fixos

Fonte: Elaboração do autor baseado em dados da COMLURB

**Tabela 133: Dados da motorização dos veículos da frota da COMLURB**

<b>DADOS DA MOTORIZAÇÃO DOS VEÍCULOS</b>				
<b>TIPO</b>	<b>TIPO</b>	<b>TORQUE</b>	<b>TAXA DE COMPRESSÃO</b>	<b>POTÊNCIA (hp)</b>
P2	Turbodiesel 4 cilindros	51 kgf x m	17,0 : 1	152
P5	Turbodiesel 6 cilindros	58 kgf x m	17,3 : 1	180
P5A	Turbodiesel 6 cilindros	58 kgf x m	17,3 : 1	180
P6	Turbodiesel 6 cilindros	75 kgf x m	17,3 : 1	210
P7	Turbodiesel 6 cilindros	97 kgf x m	17,3 : 1	250
P8	Turbodiesel 6 cilindros	90 kgf x m	17,3 : 1	220
P9	Turbodiesel 6 cilindros	90 kgf x m	17,3 : 1	220
P10	Turbodiesel 6 cilindros	75 kgf x m	17,3 : 1	210
P10A	Turbodiesel 6 cilindros	90 kgf x m	17,3 : 1	220
P11	Turbodiesel 6 cilindros	58 kgf x m	17,3 : 1	180
P12	Turbodiesel 6 cilindros	90 kgf x m	17,3 : 1	220
P13	Turbodiesel 6 cilindros	58 kgf x m	17,3 : 1	180
P17	Diesel 4 cilindros	39 kgf x m	17,3 : 1	110
P19	Turbodiesel 6 cilindros	131 kgf x m	17,5 : 1	320
P25	Turbodiesel 6 cilindros	97 kgf x m	17,3 : 1	250
P26	Turbodiesel 4 cilindros	40 kgf x m	17,0 : 1	137
P27	Turbodiesel 6 cilindros	58 kgf x m	17,3 : 1	180
P28	Turbodiesel 6 cilindros	58 kgf x m	17,3 : 1	180
P29	Turbodiesel 6 cilindros	58 kgf x m	17,3 : 1	180

Fonte: Elaboração do autor baseado em dados da COMLURB

**Tabela 134: Dados de operação dos veículos da frota da COMLURB**

<b>DADOS DE OPERAÇÃO DOS VEÍCULOS</b>						
<b>TIPO</b>	<b>DISTÂNCIA MÉDIA PERCORRIDA POR DIA (km)</b>	<b>NÚMERO DE DIAS DE OPERAÇÃO POR MÊS</b>	<b>DISTÂNCIA MÉDIA ANUAL (km)</b>	<b>CONSUMO DE DIESEL POR DIA (l)</b>	<b>EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (km/l)</b>	<b>CONSUMO ANUAL DE DIESEL (l/ano)</b>
P2	199	26	2.793.960	28	7,0	399.137
P5	204	26	1.145.664	102	2,0	572.832
P5A	165	28	1.829.520	75	2,2	831.600
P6	150	28	5.040.000	88	1,7	2.964.706
P7	160	28	5.537.280	107	1,5	3.691.520
P8	228	26	9.603.360	57	4,0	2.400.840
P9	229	26	2.500.680	76	3,0	833.560
P10	258	26	965.952	65	4,0	241.488
P10A	265	26	2.645.760	88	3,0	881.920
P11	193	26	1.686.048	48	4,0	421.512
P12	271	26	506.784	90	3,0	168.928
P13	162	26	605.520	108	1,5	403.680
P17	154	26	432.000	22	7,0	61.714
P19	358	26	4.798.800	255	1,4	3.427.714
P25	182	26	1.021.302	121	1,5	680.868
P26	141	26	1.056.288	24	6,0	176.048
P27	254	26	238.176	51	5,0	47.635
P28	157	26	245.220	39	4,0	61.305
P29	157	26	98.088	39	4,0	24.522

Fonte: Elaboração do autor baseado em dados da COMLURB

A tabela 135 apresenta o número total de veículos que compõem a frota da COMLURB, para cada tipo.

**Tabela 135: Distribuição, por tipo, do número total de veículos da frota da COMLURB**

QUANTIDADE TOTAL DE VEÍCULOS										
TIPO	P2	P5	P5A	P6	P7	P8	P9	P10	P10A	P11
<b>NÚMERO TOTAL</b>	45	18	33	100	103	135	35	12	32	28

TIPO	P12	P13	P17	P19	P25	P26	P27	P28	P29
<b>NÚMERO TOTAL</b>	6	12	9	43	18	24	3	5	2

Fonte: Elaboração do autor baseado em dados da COMLURB

O método para a análise ambiental utiliza, também, dados de emissão de poluentes da frota de caminhões movidos a diesel do estado do Rio de Janeiro. A tabela 136 contém a quantidade emitida de cada um dos quatro poluentes considerados nesse trabalho no ano de 2010 e uma estimativa para o ano de 2012.

**Tabela 136: Emissões anuais de CO, NO<sub>x</sub>, HCNM e MP da frota de caminhões do Rio de Janeiro**

ANO	QUANTIDADE EMITIDA (t/ano)			
	CO	NO <sub>x</sub>	HCNM	MP
2010	3.078	17.626	737	381
2012	3.419	18.535	749	355

Fonte: Elaboração do autor baseado em Rosa *et al.* (2011)

O método para análise ambiental será aplicado ao veículo com compactador de 19 m<sup>3</sup>, que é o objeto principal de estudo deste trabalho, e à frota completa de veículos da COMLURB. Tal como foi realizado para a análise financeira, serão consideradas três taxas de redução de consumo de combustível: 15, 25 e 30%.

Considerando os valores definidos na tabela 131 para os fatores de emissão dos poluentes em  $g_{\text{poluente}}/\text{kWh}$  ( $f_{gkWh_{\alpha}}$ ) e o valor de consumo específico dos motores da fase PROCONVE P7  $\epsilon_D$ , os fatores de emissão em  $f_{gkg_{\alpha}}$ , fornecidos pela equação (34), são apresentados na tabela 137:

**Tabela 137: Fatores de emissão em ( $g_{\text{poluente}}/\text{kg}_{\text{diesel}}$ )**

CO	HCNM	NO <sub>x</sub>	MP
3,95	0,76	8,57	0,086

Fonte: Elaboração do autor

Os fatores de emissão encontrados para os quatro poluentes serão utilizados para todos os casos em que o método será aplicado.

## 4.2.2. Resultados para a análise ambiental

### 4.2.2.1. Frota da COMLURB

Supondo-se a instalação de um sistema híbrido diesel-hidráulico em toda a frota de veículos da COMLURB, alcançando uma redução de consumo de combustível que varie entre 15 e 30%, tal como foi considerado para o veículo de coleta de resíduos com unidade compactadora de 19 m<sup>3</sup>, consegue-se obter a redução total da emissão de poluentes da frota, comparando-a com os valores de emissão da frota de caminhões do estado do Rio de Janeiro, que foram estimados para o ano de 2012.

Com base nas tabelas 134 e 135, consegue-se obter o consumo anual total de óleo diesel pela frota. Aplicando-se as taxas  $i_{\text{cons}}$  de 15, 25 e 30%, são encontrados os novos valores do consumo de óleo diesel. Esses resultados são apresentados na tabela 138.

**Tabela 138: Consumo anual de óleo diesel pela frota da COMLURB**

<b>CONSUMO DE ÓLEO DIESEL (l)</b>			
<b>VEÍCULO PADRÃO</b>	<b>VEÍCULO HÍBRIDO</b>		
	<b><math>i_{\text{cons}} = 15\%</math></b>	<b><math>i_{\text{cons}} = 25\%</math></b>	<b><math>i_{\text{cons}} = 30\%</math></b>
18.291.530	15.547.800	13.718.647	12.804.071

Fonte: Elaboração do autor

Por meio da equação (36A), calculam-se os valores de redução total anual da emissão dos quatro poluentes considerados neste trabalho. Cabe destacar que não foi utilizada a equação (37) nesse caso, pois a redução do consumo de combustível ( $\Delta F$ ) considerada já engloba todos os veículos da frota. Portanto, a tabela 139 apresenta os resultados encontrados.

**Tabela 139: Redução total anual da emissão de poluentes pela frota da COMLURB**

<b>REDUÇÃO TOTAL ANUAL DA EMISSÃO DE POLUENTES PELA FROTA (t)</b>			
<b>POLUENTE</b>	<b><math>i_{\text{cons}} = 15\%</math></b>	<b><math>i_{\text{cons}} = 25\%</math></b>	<b><math>i_{\text{cons}} = 30\%</math></b>
<b>CO</b>	8,89	14,81	17,77
<b>HCNM</b>	1,71	2,85	3,42
<b>NO<sub>x</sub></b>	19,28	32,14	38,56
<b>MP</b>	0,19	0,32	0,39

Fonte: Elaboração do autor

Comparando-se os resultados da tabela 139 com os valores da emissão total anual desses quatro poluentes pela frota de caminhões do estado do Rio de Janeiro, que foram estimados para o ano de 2012 e estão apresentados na tabela 136, tem-se a tabela 140.

**Tabela 140: Comparativo da frota da COMLURB com a de caminhões do estado do Rio de Janeiro**

<b>PROPORÇÃO DA REDUÇÃO DE EMISSÃO DE POLUENTES PELA FROTA DA COMLURB COM A EMISSÃO PELA FROTA DE CAMINHÕES DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO</b>			
<b>POLUENTE</b>	<b><math>i_{\text{cons}} = 15\%</math></b>	<b><math>i_{\text{cons}} = 25\%</math></b>	<b><math>i_{\text{cons}} = 30\%</math></b>
<b>CO</b>	0,26%	0,43%	0,52%
<b>HCNM</b>	0,23%	0,38%	0,46%
<b>NO<sub>x</sub></b>	0,10%	0,17%	0,21%
<b>MP</b>	0,05%	0,09%	0,11%

Fonte: Elaboração do autor

#### **4.2.2.2. Veículo com compactador de 19 m<sup>3</sup>**

Com base na tabela 20, que apresenta os resultados da redução no consumo de combustível anual por conta da instalação do sistema híbrido no veículo com compactador de 19 m<sup>3</sup>, para cada taxa  $i_{\text{cons}}$ , e tomando-se os valores definidos na tabela 185 para os fatores de emissão  $f_{\text{gkg}_\alpha}$ , calcula-se, por meio da equação (36A), a redução anual de emissão do poluente considerado. E, com a tabela 135, que contém o número de veículos de cada tipo na frota da COMLURB e utilizando-se o resultado anterior, aplica-se a equação (37), encontrando-se o valor da redução total anual de emissão do poluente. As tabelas 141, 142 e 143 apresentam esses resultados, para as taxas  $i_{\text{cons}}$  iguais a 15, 25 e 30%, respectivamente.

Tabela 141: Redução anual de emissão de poluentes para  $i_{\text{cons}} = 15\%$ 

REDUÇÃO ANUAL DE EMISSÃO DE POLUENTES (kg)					
$d_{\text{mensal}}$ (km)	REDUÇÃO	$\alpha = \text{NO}$	$\alpha = \text{HCNM}$	$\alpha = \text{NO}_x$	$\alpha = \text{MP}$
0	$G_\alpha$	0	0	0	0
	$G_{\alpha T}$	0	0	0	0
500	$G_\alpha$	0,14	0,025	0,305	0,003
	$G_{\alpha T}$	14,42	2,575	31,415	0,309
1.000	$G_\alpha$	0,28	0,050	0,610	0,006
	$G_{\alpha T}$	28,84	5,150	62,830	0,618
1.500	$G_\alpha$	0,42	0,075	0,9150	0,009
	$G_{\alpha T}$	43,26	7,725	94,245	0,927
2.000	$G_\alpha$	0,56	0,100	1,220	0,012
	$G_\alpha$	57,68	10,300	125,660	1,236
2.500	$G_{\alpha T}$	0,70	0,125	1,525	0,015
	$G_\alpha$	72,10	12,875	157,075	1,545
3.000	$G_{\alpha T}$	0,84	0,150	1,830	0,018
	$G_\alpha$	86,52	15,450	188,490	1,854
3.500	$G_\alpha$	0,98	0,175	2,135	0,021
	$G_{\alpha T}$	100,94	18,025	219,905	2,163
4.000	$G_\alpha$	1,12	0,200	2,440	0,024
	$G_{\alpha T}$	115,36	20,600	251,320	2,472
4.500	$G_\alpha$	1,26	0,225	2,745	0,027
	$G_{\alpha T}$	129,78	23,175	282,735	2,781
5.000	$G_\alpha$	1,40	0,250	3,050	0,030
	$G_{\alpha T}$	144,2	25,750	314,150	3,090

Fonte: Elaboração do autor

Tabela 142: Redução anual de emissão de poluentes para  $i_{\text{cons}} = 25\%$ 

REDUÇÃO ANUAL DE EMISSÃO DE POLUENTES (kg)					
$d_{\text{mensal}}$ (km)	REDUÇÃO	$\alpha = \text{NO}$	$\alpha = \text{HCNM}$	$\alpha = \text{NO}_x$	$\alpha = \text{MP}$
0	$G_\alpha$	0	0	0	0
	$G_{\alpha T}$	0	0	0	0
500	$G_\alpha$	0,215	0,04	0,47	0,005
	$G_{\alpha T}$	22,145	4,12	48,41	0,464
1.000	$G_\alpha$	0,430	0,08	0,94	0,009
	$G_{\alpha T}$	44,290	8,24	96,82	0,927
1.500	$G_\alpha$	0,645	0,12	1,41	0,014
	$G_{\alpha T}$	66,435	12,36	145,23	1,391
2.000	$G_\alpha$	0,860	0,16	1,88	0,018
	$G_\alpha$	88,580	16,48	193,64	1,854
2.500	$G_{\alpha T}$	1,075	0,20	2,35	0,023
	$G_\alpha$	110,725	20,6	242,05	2,318
3.000	$G_{\alpha T}$	1,290	0,24	2,82	0,027
	$G_\alpha$	132,870	24,72	290,46	2,781
3.500	$G_\alpha$	1,505	0,28	3,29	0,032
	$G_{\alpha T}$	155,015	28,84	338,87	3,245
4.000	$G_\alpha$	1,720	0,32	3,76	0,036
	$G_{\alpha T}$	177,160	32,96	387,28	3,708
4.500	$G_\alpha$	1,935	0,36	4,23	0,041
	$G_{\alpha T}$	199,305	37,08	435,69	4,172
5.000	$G_\alpha$	2,150	0,40	4,70	0,045
	$G_{\alpha T}$	221,450	41,20	484,10	4,635

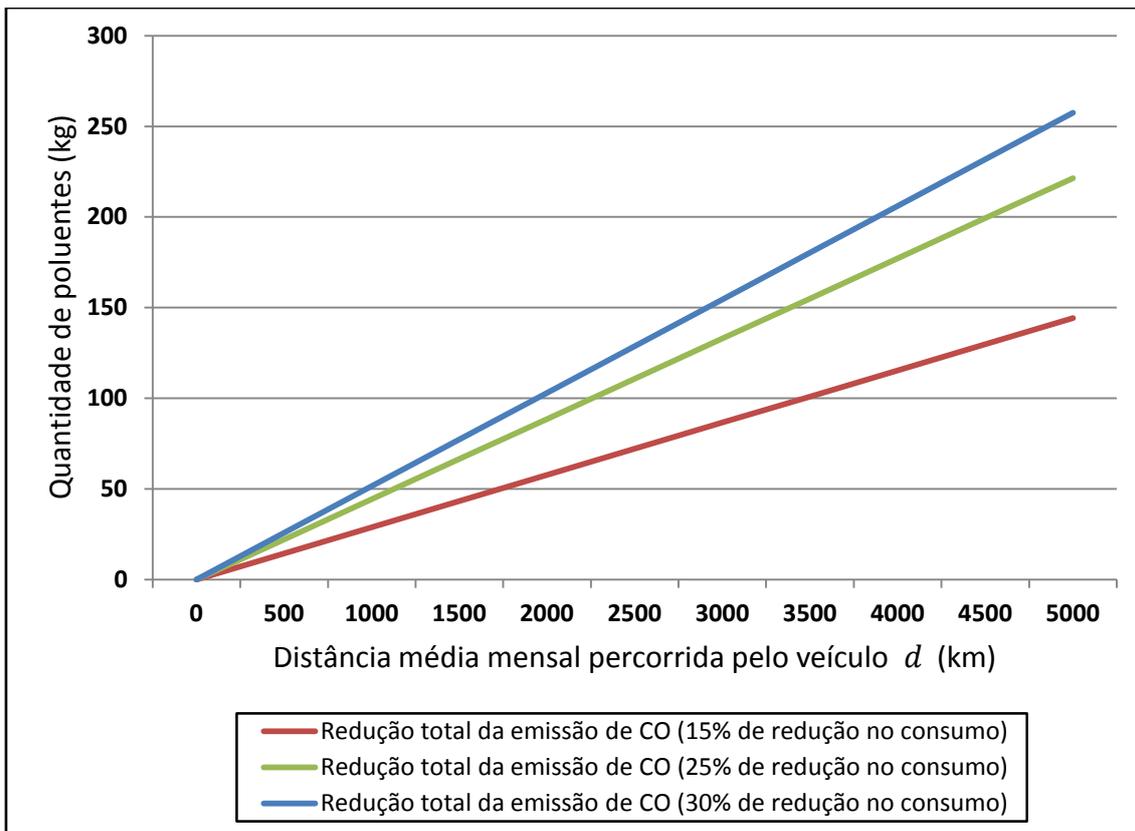
Fonte: Elaboração do autor

Tabela 143: Redução anual de emissão de poluentes para  $i_{\text{cons}} = 30\%$ 

REDUÇÃO ANUAL DE EMISSÃO DE POLUENTES (kg)					
$d_{\text{mensal}}$ (km)	REDUÇÃO	$\alpha = \text{NO}$	$\alpha = \text{HCNM}$	$\alpha = \text{NO}_x$	$\alpha = \text{MP}$
<b>0</b>	$G_\alpha$	0	0	0	0
	$G_{\alpha T}$	0	0	0	0
<b>500</b>	$G_\alpha$	0,25	0,045	0,54	0,006
	$G_{\alpha T}$	25,75	4,635	55,62	0,567
<b>1.000</b>	$G_\alpha$	0,50	0,090	1,08	0,011
	$G_{\alpha T}$	51,50	9,270	111,24	1,133
<b>1.500</b>	$G_\alpha$	0,750	0,135	1,62	0,017
	$G_{\alpha T}$	77,25	13,905	166,86	1,700
<b>2.000</b>	$G_\alpha$	1,00	0,180	2,16	0,022
	$G_\alpha$	103,00	18,540	222,48	2,266
<b>2.500</b>	$G_{\alpha T}$	1,25	0,225	2,70	0,028
	$G_\alpha$	128,75	23,175	278,10	2,833
<b>3.000</b>	$G_{\alpha T}$	1,50	0,270	3,24	0,033
	$G_\alpha$	154,50	27,810	333,72	3,399
<b>3.500</b>	$G_\alpha$	1,75	0,315	3,78	0,039
	$G_{\alpha T}$	180,25	32,445	389,34	3,966
<b>4.000</b>	$G_\alpha$	2,00	0,360	4,32	0,044
	$G_{\alpha T}$	206,00	37,080	444,96	4,532
<b>4.500</b>	$G_\alpha$	2,25	0,405	4,86	0,050
	$G_{\alpha T}$	231,75	41,715	500,58	5,099
<b>5.000</b>	$G_\alpha$	2,50	0,450	5,40	0,055
	$G_{\alpha T}$	257,50	46,350	556,20	5,665

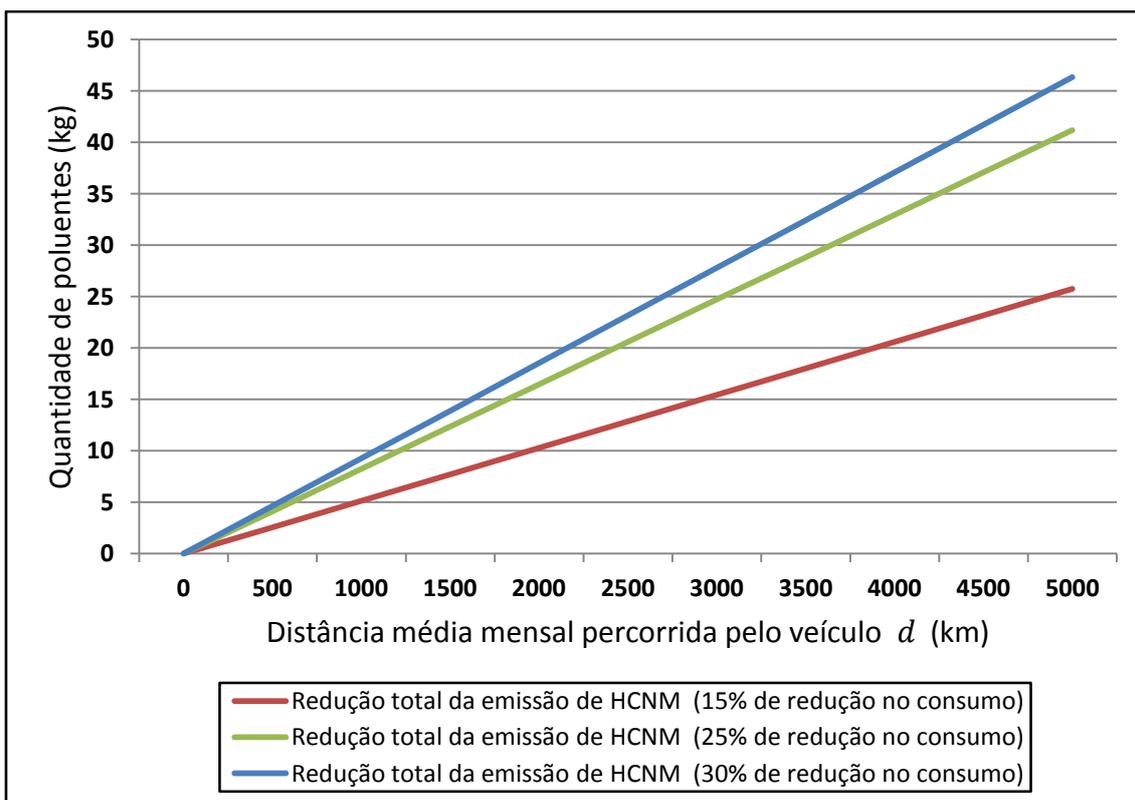
Fonte: Elaboração do autor

Com base nas tabelas 141, 142 e 143, constroem-se os gráficos ilustrados nas figuras 106, 107, 108 e 109, que representam uma comparação entres as quantidades reduzidas da emissão de poluentes para as três diferentes taxas  $i_{\text{cons}}$ , considerando-se o total de veículos pertencentes à frota da COMLURB.



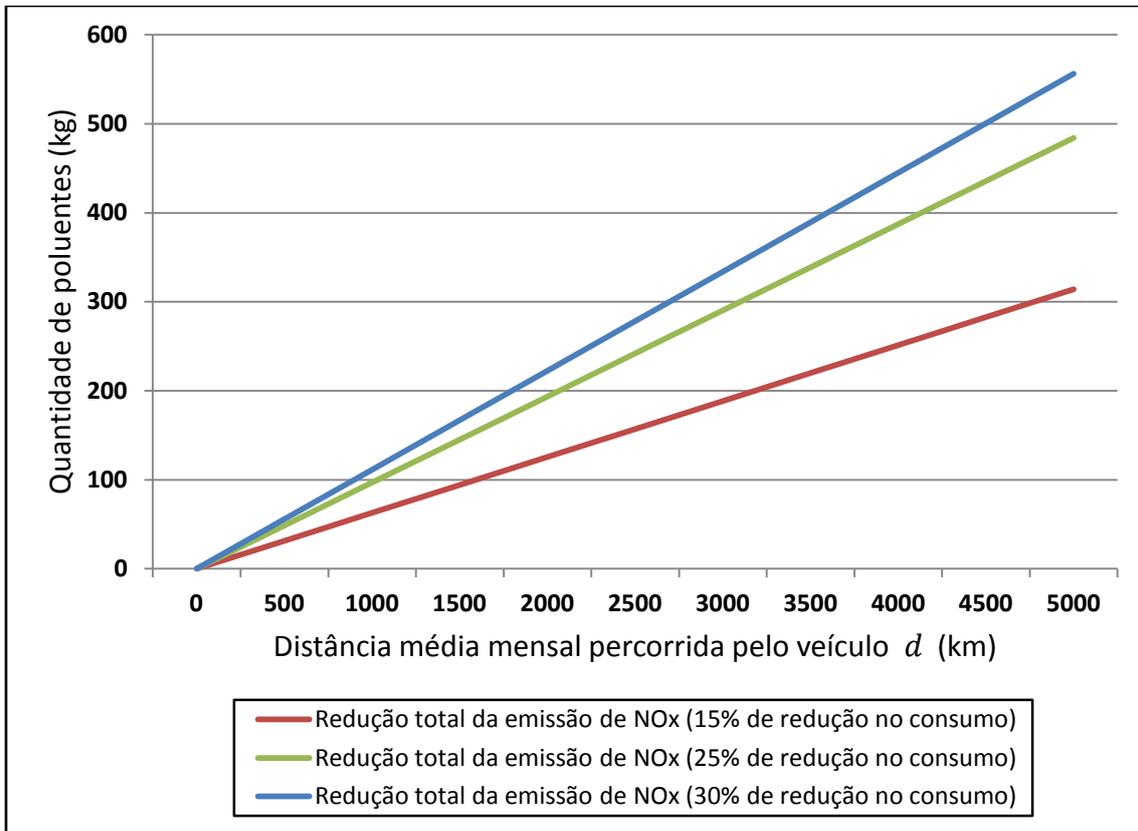
**Figura 106: Gráfico comparativo da redução total da emissão de CO**

Fonte: Elaboração do autor

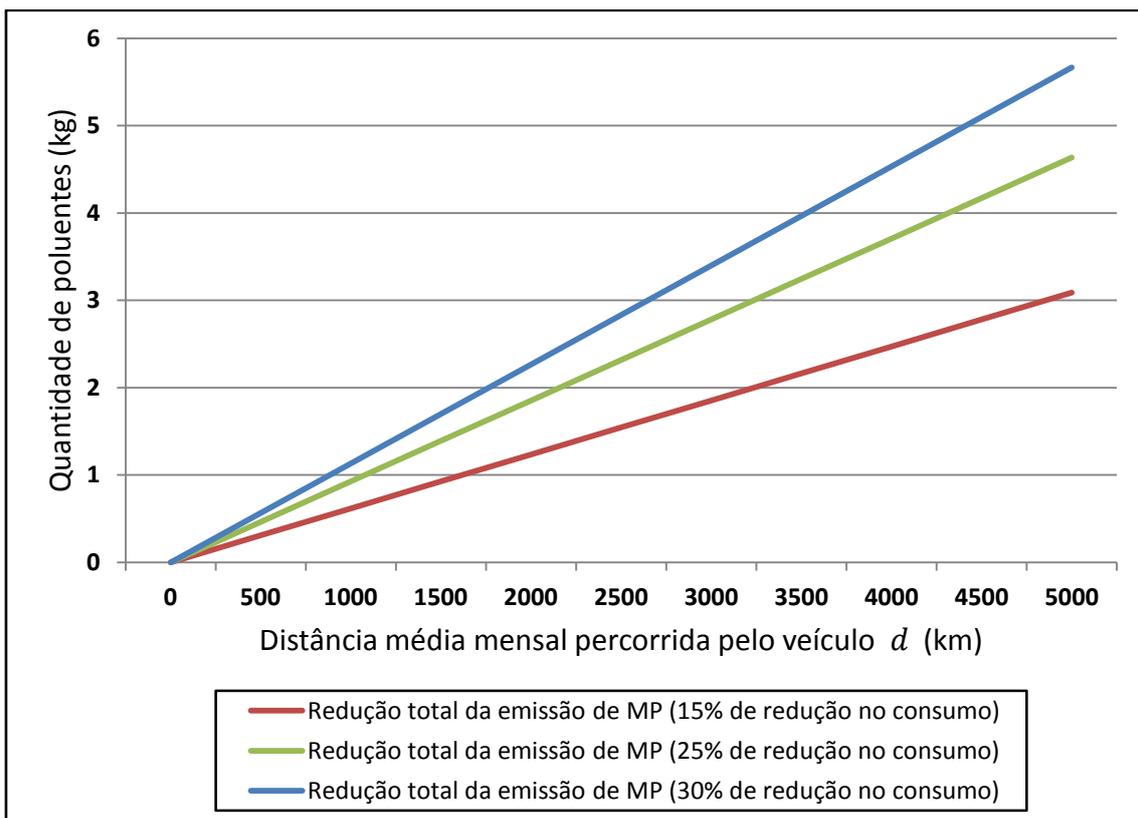


**Figura 107: Gráfico comparativo da redução total da emissão de HCNM**

Fonte: Elaboração do autor



**Figura 108: Gráfico comparativo da redução total da emissão de NO<sub>x</sub>**  
 Fonte: Elaboração do autor



**Figura 109: Gráfico comparativo da redução total da emissão de MP**  
 Fonte: Elaboração do autor

Como esperado, em todos os gráficos comparativos, quanto maior a distância média percorrida pelo veículo, maior é a diferença na redução da emissão de poluentes entre as taxas  $i_{\text{cons}}$  consideradas. Da mesma forma, quanto maior a taxa  $i_{\text{cons}}$ , maior a inclinação da reta e uma menor quantidade de poluentes é emitida ao ar atmosférico.

Realizando-se o mesmo procedimento comparativo com a frota de caminhões do estado do Rio de Janeiro, feito anteriormente, e tomando-se por base os resultados apresentados nas tabelas 141, 142, 143 e 144, para a redução anual da emissão de poluentes do veículo com compactador de 19 m<sup>3</sup>, variando-se com a distância média percorrida e a taxa de redução de consumo de combustível, constroem-se as tabelas 144, 145 e 146.

**Tabela 144: Comparativo com a frota de caminhões do estado do Rio de Janeiro para  $i_{\text{cons}}=15\%$**

$d_{\text{mensal}}$ (km)	NO	HCNM	NO <sub>x</sub>	MP
0	0%	0%	0%	0%
500	0,0004%	0,0003%	0,0002%	0,0001%
1000	0,0008%	0,0007%	0,0003%	0,0002%
1500	0,0013%	0,0010%	0,0005%	0,0003%
2000	0,0017%	0,0014%	0,0007%	0,0003%
2500	0,0021%	0,0017%	0,0008%	0,0004%
3000	0,0025%	0,0021%	0,0010%	0,0005%
3500	0,0030%	0,0024%	0,0012%	0,0006%
4000	0,0034%	0,0028%	0,0014%	0,0007%
4500	0,0038%	0,0031%	0,0015%	0,0008%
5000	0,0042%	0,0034%	0,0017%	0,0009%

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 145: Comparativo com a frota de caminhões do estado do Rio de Janeiro para  $i_{\text{cons}}=25\%$**

$d_{\text{mensal}}$ (km)	NO	HCNM	NO <sub>x</sub>	MP
0	0%	0%	0%	0%
500	0,0006%	0,0006%	0,0003%	0,0001%
1000	0,0013%	0,0011%	0,0005%	0,0003%
1500	0,0019%	0,0017%	0,0008%	0,0004%
2000	0,0026%	0,0022%	0,0010%	0,0005%
2500	0,0032%	0,0028%	0,0013%	0,0007%
3000	0,0039%	0,0033%	0,0016%	0,0008%
3500	0,0045%	0,0039%	0,0018%	0,0009%
4000	0,0052%	0,0044%	0,0021%	0,0010%
4500	0,0058%	0,0050%	0,0024%	0,0012%
5000	0,0065%	0,0055%	0,0026%	0,0013%

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 146: Comparativo com a frota de caminhões do estado do Rio de Janeiro para  $i_{\text{cons}}=30\%$**

$d_{\text{mensal}}$ (km)	NO	HCNM	NO <sub>x</sub>	MP
0	0%	0%	0%	0%
500	0,0008%	0,0006%	0,0003%	0,0002%
1000	0,0015%	0,0012%	0,0006%	0,0003%
1500	0,0023%	0,0019%	0,0009%	0,0005%
2000	0,0030%	0,0025%	0,0012%	0,0006%
2500	0,0038%	0,0031%	0,0015%	0,0008%
3000	0,0045%	0,0037%	0,0018%	0,0010%
3500	0,0053%	0,0043%	0,0021%	0,0011%
4000	0,0060%	0,0050%	0,0024%	0,0013%
4500	0,0068%	0,0056%	0,0027%	0,0014%
5000	0,0075%	0,0062%	0,0030%	0,0016%

Considerando-se os dados operacionais do veículo do ano de 2012, apresentados na tabela 9, consegue-se obter o seu consumo anual total de óleo diesel. Aplicando-se as taxas  $i_{\text{cons}}$  de 15, 25 e 30%, são encontrados os novos valores do consumo. Esses resultados são apresentados na tabela 147.

**Tabela 147: Consumo anual de óleo diesel pelo veículo com compactador de 19 m<sup>3</sup>**

CONSUMO DE ÓLEO DIESEL (l)			
VEÍCULO PADRÃO	VEÍCULO HÍBRIDO		
	$i_{\text{cons}} = 15\%$	$i_{\text{cons}} = 25\%$	$i_{\text{cons}} = 30\%$
3.691.520	3.137.792	2.768.640	2.584.064

Fonte: Elaboração do autor

Por meio da equação (36A), calculam-se os valores de redução total anual da emissão dos quatro poluentes considerados neste trabalho. Portanto, a tabela 148 apresenta os resultados encontrados.

**Tabela 148: Redução total anual da emissão de poluentes pelo veículo com compactador de 19 m<sup>3</sup>**

REDUÇÃO TOTAL ANUAL DA EMISSÃO DE POLUENTES (t)			
POLUENTE	$i_{\text{cons}} = 15\%$	$i_{\text{cons}} = 25\%$	$i_{\text{cons}} = 30\%$
CO	1,79	2,99	3,59
HCNM	0,35	0,58	0,69
NO <sub>x</sub>	3,89	6,49	7,78
MP	0,04	0,07	0,08

Fonte: Elaboração do autor

Das tabelas 148 e 139, estabelece-se uma relação entre a redução da emissão de poluentes pelo veículo com compactador de 19 m<sup>3</sup>, com a quantidade emitida pela frota

de caminhões da COMLURB. Os valores percentuais encontrados são: 3,03, 5,05 e 6,05%, para as taxas  $i_{\text{cons}}$  de 15, 25 e 30%, respectivamente. Tais resultados são iguais para todos os poluentes considerados, pois quando se faz a relação entre o valor obtido para o veículo e aquele encontrado para a frota, os fatores de emissão de um mesmo poluente e a densidade do diesel se cancelam na fração, restando somente a divisão das quantidades consumidas de combustível. Dessa forma, seria o mesmo que comparar os valores das tabelas 147 e 138.

## **5. ANÁLISE DOS RESULTADOS**

A partir dos resultados encontrados no capítulo 4, será feita a análise da viabilidade financeira de se introduzir a tecnologia híbrida diesel-hidráulica nos veículos de coleta de resíduos em área urbana da COMLURB. Em particular, será realizada uma análise mais detalhada e crítica do caminhão equipado com a unidade compactadora de 19 m<sup>3</sup>, visto que é para este tipo veículo que a empresa MAN está desenvolvendo o sistema híbrido HRB, possibilitando a utilização dos dados de redução de consumo de combustível alcançados nos testes em fábrica.

Para a análise ambiental, serão considerados os resultados obtidos para toda a frota de caminhões da COMLURB e para o veículo com compactador de 19 m<sup>3</sup>.

### **5.1. ANÁLISE DA VIABILIDADE FINANCEIRA**

Inicialmente, serão analisados os dados encontrados para o veículo com compactador de 19 m<sup>3</sup> e, após, será procedida a análise dos outros dois veículos de coleta de resíduos, com compactadores de 15 e 10 m<sup>3</sup>.

#### **5.1.1. Veículo com compactador de 19 m<sup>3</sup>**

Para facilitar a análise financeira deste veículo, foram elaboradas tabelas que contêm os valores das distâncias a partir das quais é viável a utilização do sistema híbrido, para cada um dos cenários considerados no capítulo 4. Com base na distância média mensal percorrida pelo veículo, obtida da tabela 9 multiplicando-se o número de dias de utilização do veículo no mês pela distância média diária percorrida, consegue-se afirmar se a instalação do sistema híbrido é viável ou não. Para os casos afirmativos, é fornecido o valor do retorno financeiro, a valor presente, a ser obtido pelo uso desse sistema.

A tabela 149 apresenta essas informações para cada uma das taxas de redução de consumo de combustível consideradas neste trabalho, sem incluir a possibilidade da venda de crédito de carbono.

**Tabela 149 – Viabilidade financeira sem venda de crédito de carbono**

<b><math>i_{\text{cons}} = 15\%</math></b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>	<b>RETORNO FINANCEIRO</b>
A.1	4.013,79 km	SIM	R\$ 3.854,52
A.2	3.802,59 km	SIM	R\$ 5.911,78
B.1	5.062,42 km	NÃO	-
B.2	4.860,30 km	NÃO	-
C.1	6.808,83 km	NÃO	-
C.2	6.625,46 km	NÃO	-
D.1	10.299,63 km	NÃO	-
D.2	10.159,30 km	NÃO	-
<b><math>i_{\text{cons}} = 25\%</math></b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>	<b>RETORNO FINANCEIRO</b>
A.1	2.617,69 km	SIM	R\$ 23.609,05
A.2	2.479,95 km	SIM	R\$ 26.763,51
B.1	3.301,58 km	SIM	R\$ 12.204,61
B.2	3.169,76 km	SIM	R\$ 14.134,17
C.1	4.440,54 km	SIM	R\$ 313,06
C.2	4.320,95 km	SIM	R\$ 1.296,72
D.1	6.717,15 km	NÃO	-
D.2	6.625,63 km	NÃO	-
<b><math>i_{\text{cons}} = 30\%</math></b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>	<b>RETORNO FINANCEIRO</b>
A.1	2.268,66 km	SIM	R\$ 32.346,63
A.2	2.149,29 km	SIM	R\$ 35.986,40
B.1	2.861,37 km	SIM	R\$ 19.342,82
B.2	2.747,13 km	SIM	R\$ 21.569,23
C.1	3.848,47 km	SIM	R\$ 5.781,02
C.2	3.744,82 km	SIM	R\$ 6.916,01
D.1	5.821,53 km	NÃO	-
D.2	5.742,21 km	NÃO	-

Fonte: Elaboração do autor

Segundo os dados coletados da COMLURB, a frota de veículos de coleta de resíduos é renovada a cada 5 anos. Isso se deve ao desgaste natural do caminhão e de sua carroceria, além das exigências contratuais da companhia, que incluem a renovação da frota a cada novo contrato, cuja vigência é de 5 anos. Dessa forma, os cenários que melhor retratam a realidade são: A.1 e A.2.

Considerando-se estes cenários, a tabela 149 mostra que a instalação do sistema híbrido neste tipo de veículo é viável para todas as taxas de redução de consumo de combustível consideradas. Em especial, para  $i_{\text{cons}} = 25\%$ , que representa a taxa alcançada nos testes com o veículo híbrido da MAN, o retorno financeiro para os cenários A.1 e A.2 vale R\$ 23.609,05 e R\$ 26.763,51, respectivamente.

Para uma estimativa otimista, supondo-se um menor acréscimo no preço do óleo diesel nos próximos 5 anos, representada pelo cenário A.1, obtém-se um retorno financeiro que vale cerca de 6,13% do valor do veículo novo com a unidade compactadora. Já para uma estimativa mais pessimista sobre a possibilidade de aumento no preço do óleo diesel, retratada no cenário A.2, o retorno financeiro alcançado representa, aproximadamente, 6,95% do valor do veículo novo com compactador. Esses resultados significam uma economia para a empresa a ser contratada, reduzindo-se, também, os gastos da companhia com seu contrato.

De um modo geral, da tabela 149 constata-se que, considerando  $i_{\text{cons}} = 15\%$ , somente para os cenários A.1 e A.2 é viável a instalação do sistema híbrido. Para  $i_{\text{cons}} = 25\%$  e  $i_{\text{cons}} = 30\%$ , os cenários com tempo de renovação da frota de 5, 4 e 3 anos (todos, com exceção de D.1 e D.2), são favoráveis à aquisição de um veículo híbrido diesel-hidráulico.

Da definição do tempo de retorno do investimento (*payback*), apresentada no item 3.1, tem-se que: para  $i_{\text{cons}} = 15\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 5$  anos; para  $i_{\text{cons}} = 25\%$  e  $i_{\text{cons}} = 30\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 3$  anos.

Obviamente, o maior retorno financeiro é obtido para  $i_{\text{cons}} = 30\%$ , no cenário A.2, com o valor de R\$ 35.986,40, representando cerca de 9,35% do valor do veículo novo com carroceria.

As tabelas 150 e 151 trazem as mesmas informações da tabela 149, considerando, porém, a possibilidade da venda de crédito de carbono. Na primeira tabela, o valor do crédito de carbono é de R\$ 8,46 e, na segunda, de R\$ 51,90, conforme definição no item 4.1.3.5, e resultados alcançados pela aplicação do método para análise financeira, apresentados no capítulo 4, item 4.1.4.1.

**Tabela 150 – Viabilidade financeira com venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b><math>i_{\text{cons}} = 15\%</math></b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>	<b>RETORNO FINANCEIRO</b>
A.1	3.967,70 km	SIM	R\$ 4.284,76
A.2	3.761,20 km	SIM	R\$ 6.342,02
B.1	5.003,59 km	NÃO	-
B.2	4.806,04 km	NÃO	-
C.1	6.728,72 km	NÃO	-
C.2	6.549,58 km	NÃO	-
D.1	10.299,63 km	NÃO	-
D.2	10.039,90 km	NÃO	-
<b><math>i_{\text{cons}} = 25\%</math></b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>	<b>RETORNO FINANCEIRO</b>
A.1	2.587,63 km	SIM	R\$ 24.268,75
A.2	2.452,96 km	SIM	R\$ 27.423,21
B.1	3.263,21 km	SIM	R\$ 12.750,17
B.2	3.134,38 km	SIM	R\$ 14.679,73
C.1	4.388,29 km	SIM	R\$ 736,20
C.2	4.271,47 km	SIM	R\$ 1.719,85
D.1	6.717,15 km	NÃO	-
D.2	6.547,76 km	NÃO	-
<b><math>i_{\text{cons}} = 30\%</math></b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>	<b>RETORNO FINANCEIRO</b>
A.1	2.242,62 km	SIM	R\$ 33.107,82
A.2	2.125,89 km	SIM	R\$ 36.747,59
B.1	2.828,12 km	SIM	R\$ 19.972,30
B.2	2.716,46 km	SIM	R\$ 22.198,72
C.1	3.803,19 km	SIM	R\$ 6.269,26
C.2	3.701,94 km	SIM	R\$ 7.404,25
D.1	5.821,53 km	NÃO	-
D.2	5.674,72 km	NÃO	-

Fonte: Elaboração do autor

Na tabela 150, considerando a realidade operacional do veículo com compactador de 19 m<sup>3</sup>, melhor retratada pelos cenários A.1 e A.2, para  $i_{\text{cons}} = 25\%$ , conforme visto anteriormente, verifica-se que a introdução do sistema híbrido diesel-hidráulico no caminhão é viável, contabilizando um retorno financeiro de R\$ 24.268,75 para A.1 e de R\$ 27.423,21 para A.2, representando 6,30 e 7,13% do valor de um veículo novo com compactador, respectivamente.

Observa-se, então, que a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46 representou um acréscimo de 2,8 e 2,46% no retorno financeiro para os cenários A.1 e A.2, respectivamente.

Analisando-se a tabela 150 em sua totalidade, observa-se uma situação semelhante à encontrada na tabela 149, em que o sistema híbrido somente é viável para os cenários A.1 e A.2, se considerada uma taxa  $i_{\text{cons}} = 15\%$ , e para os cenários com tempo de renovação da frota de 5, 4 e 3 anos, se  $i_{\text{cons}} = 25\%$  e  $i_{\text{cons}} = 30\%$ . Assim, os tempos de retorno do investimento, para essas taxas, valem: para  $i_{\text{cons}} = 15\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 5$  anos; para  $i_{\text{cons}} = 25\%$  e  $i_{\text{cons}} = 30\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 3$  anos.

Ainda, o maior retorno financeiro é obtido para  $i_{\text{cons}} = 30\%$ , no cenário A.2, com o valor de R\$ 36.747,59, representando cerca de 9,54% do valor do veículo novo com carroceria.

**Tabela 151 – Viabilidade financeira com venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

$i_{\text{cons}} = 15\%$			
CENÁRIO	DISTÂNCIA VIÁVEL	VIABILIDADE	RETORNO FINANCEIRO
A.1	3.746,80 km	SIM	R\$ 6.493,92
A.2	3.562,11 km	SIM	R\$ 8.551,18
B.1	4.721,82 km	NÃO	-
B.2	4.545,51 km	NÃO	-
C.1	6.345,39 km	NÃO	-
C.2	6.185,84 km	NÃO	-
D.1	9.590,25 km	NÃO	-
D.2	9.468,47 km	NÃO	-
$i_{\text{cons}} = 25\%$			
CENÁRIO	DISTÂNCIA VIÁVEL	VIABILIDADE	RETORNO FINANCEIRO
A.1	2.443,56 km	SIM	R\$ 27.656,14
A.2	2.323,12 km	SIM	R\$ 30.810,60
B.1	3.079,45 km	SIM	R\$ 15.551,45
B.2	2.964,46 km	SIM	R\$ 17.481,01
C.1	4.138,29 km	SIM	R\$ 2.908,88
C.2	4.034,24 km	SIM	R\$ 3.892,54
D.1	6.254,51 km	NÃO	-
D.2	6.175,09 km	NÃO	-
$i_{\text{cons}} = 30\%$			
CENÁRIO	DISTÂNCIA VIÁVEL	VIABILIDADE	RETORNO FINANCEIRO
A.1	2.117,76 km	SIM	R\$ 37.016,34
A.2	2.013,37 km	SIM	R\$ 40.656,11
B.1	2.668,86 km	SIM	R\$ 23.204,55
B.2	2.569,20 km	SIM	R\$ 25.430,97
C.1	3.586,52 km	SIM	R\$ 8.776,20
C.2	3.496,34 km	SIM	R\$ 9.911,19
D.1	5.420,58 km	NÃO	-
D.2	5.351,75 km	NÃO	-

Fonte: Elaboração do autor

Na tabela 151, considerando os cenários A.1 e A.2, e  $i_{\text{cons}} = 25\%$ , constata-se que a introdução do sistema híbrido no caminhão é viável, e o retorno financeiro alcançado é de R\$ 27.656,14 para A.1 e de R\$ 30.810,60 para A.2, representando 7,18 e 8,00% do valor de um veículo novo com compactador, respectivamente.

Dessa forma, observa-se que a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90 representou um acréscimo de 17,14 e 15,12% no retorno financeiro para os cenários A.1 e A.2, respectivamente, em comparação com a situação em que não foi considerada essa operação de venda. Esses valores são expressivos, indicando que a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90 pode ser vantajosa para a empresa detentora da frota.

Os cenários em que o sistema híbrido se mostrou viável e os tempos de retorno do investimento, considerando-se as três taxas de redução de consumo de combustível, são os mesmos encontrados nos dois casos anteriores.

Nesta tabela, o maior retorno financeiro é obtido para  $i_{\text{cons}} = 30\%$ , no cenário A.2, com o valor de R\$ 40.656,11, representando cerca de 10,56% do valor do veículo novo com carroceria.

É interessante considerar a possibilidade de haver um acréscimo, ou mesmo uma redução, na distância média mensal percorrida pelo veículo, visto que podem acontecer alterações na infraestrutura de transportes da cidade do Rio de Janeiro, ou mesmo na demanda de coleta de resíduos, que modifiquem rotas de coleta, frequência de utilização do veículo, entre outras consequências. Dessa forma, as tabelas 152, 153 e 154 consideram uma variação de 5% no valor dessa distância, para menos e para mais, apresentando os valores obtidos para o retorno financeiro nessas situações. Da mesma forma que nas tabelas anteriores, a viabilidade é definida com relação à distância viável, encontrada para cada cenário e taxa  $i_{\text{cons}}$ .

A análise da variação de distância média percorrida somente será realizada para este veículo, tendo em vista a sua maior importância no contexto da análise de viabilidade financeira, pois, inicialmente, o sistema híbrido diesel-hidráulico está sendo desenvolvido pela empresa MAN para este tipo de veículo.

**Tabela 152 – Viabilidade financeira sem venda de crédito de carbono**

<b><math>i_{\text{cons}} = 15\%</math></b>					
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>		<b>RETORNO FINANCEIRO</b>	
		<b>- 5%</b>	<b>+ 5%</b>	<b>- 5%</b>	<b>+ 5%</b>
A.1	4.013,79 km	SIM	SIM	R\$ 2.002,53	R\$ 5.706,50
A.2	3.802,59 km	SIM	SIM	R\$ 3.956,93	R\$ 7.866,63
B.1	5.062,42 km	NÃO	NÃO	-	-
B.2	4.860,30 km	NÃO	NÃO	-	-
C.1	6.808,83 km	NÃO	NÃO	-	-
C.2	6.625,46 km	NÃO	NÃO	-	-
D.1	10.299,63 km	NÃO	NÃO	-	-
D.2	10.159,30 km	NÃO	NÃO	-	-

<b><math>i_{\text{cons}} = 25\%</math></b>					
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>		<b>RETORNO FINANCEIRO</b>	
		<b>- 5%</b>	<b>+ 5%</b>	<b>- 5%</b>	<b>+ 5%</b>
A.1	2.617,69 km	SIM	SIM	R\$ 20.769,33	R\$ 26.448,76
A.2	2.479,95 km	SIM	SIM	R\$ 23.766,08	R\$ 29.760,95
B.1	3.301,58 km	SIM	SIM	R\$ 9.884,70	R\$ 14.524,53
B.2	3.169,76 km	SIM	SIM	R\$ 11.717,78	R\$ 16.550,57
C.1	4.440,54 km	NÃO	SIM	-	R\$ 2.090,15
C.2	4.320,95 km	NÃO	SIM	-	R\$ 3.122,99
D.1	6.717,15 km	NÃO	NÃO	-	-
D.2	6.625,63 km	NÃO	NÃO	-	-

<b><math>i_{\text{cons}} = 30\%</math></b>					
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>		<b>RETORNO FINANCEIRO</b>	
		<b>- 5%</b>	<b>+ 5%</b>	<b>- 5%</b>	<b>+ 5%</b>
A.1	2.268,66 km	SIM	SIM	R\$ 29.070,03	R\$ 35.623,22
A.2	2.149,29 km	SIM	SIM	R\$ 32.527,82	R\$ 39.444,98
B.1	2.861,37 km	SIM	SIM	R\$ 16.665,99	R\$ 22.019,64
B.2	2.747,13 km	SIM	SIM	R\$ 18.781,08	R\$ 24.357,38
C.1	3.848,47 km	SIM	SIM	R\$ 3.730,54	R\$ 7.831,51
C.2	3.744,82 km	SIM	SIM	R\$ 4.808,78	R\$ 9.023,25
D.1	5.821,53 km	NÃO	NÃO	-	-
D.2	5.742,21 km	NÃO	NÃO	-	-

Fonte: Elaboração do autor

Comparando-se a tabela 152 com a tabela 149, verifica-se que a redução em 5% na distância média percorrida pelo veículo alterou a viabilidade somente dos cenários C.1 e C.2, para uma taxa  $i_{\text{cons}} = 25\%$ , que deixaram de ser viáveis, pois a nova distância mensal de 4.256 km é inferior às distâncias viáveis encontradas para estes cenários. Assim, o tempo de retorno do investimento, para cada  $i_{\text{cons}}$ , vale: para  $i_{\text{cons}} = 15\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 5$  anos; para  $i_{\text{cons}} = 25\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 4$  anos; e  $i_{\text{cons}} = 30\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 3$  anos.

Nos casos em que a instalação do sistema híbrido continuou sendo viável, houve uma diminuição do valor de retorno financeiro, como esperado. Por exemplo, para os

cenários A.1 e A.2,  $i_{\text{cons}} = 25\%$ , houve redução de 12,03 e 11,20%, respectivamente.

O aumento em 5% na distância média mensal, que passou a valer 4.704 km, não alterou a viabilidade do sistema híbrido e os tempos  $T_{PB}$ , nos cenários e taxas de redução de consumo de combustível considerados. Porém, houve acréscimo no valor do retorno, como se pode observar nos cenários A.1 e A.2, para  $i_{\text{cons}} = 25\%$ , de 12,03 e 11,20%, respectivamente. Verifica-se que o percentual de aumento ou redução no valor do retorno é o mesmo, variando-se a distância para mais ou para menos, respectivamente.

**Tabela 153 – Viabilidade financeira com a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

$i_{\text{cons}} = 15\%$					
CENÁRIO	DISTÂNCIA VIÁVEL	VIABILIDADE		RETORNO FINANCEIRO	
		- 5%	+ 5%	- 5%	+ 5%
A.1	3.967,70 km	SIM	SIM	R\$ 2.432,77	R\$ 6.136,74
A.2	3.761,20 km	SIM	SIM	R\$ 4.387,17	R\$ 8.296,87
B.1	5.003,59 km	NÃO	NÃO	-	-
B.2	4.806,04 km	NÃO	NÃO	-	-
C.1	6.728,72 km	NÃO	NÃO	-	-
C.2	6.549,58 km	NÃO	NÃO	-	-
D.1	10.299,63 km	NÃO	NÃO	-	-
D.2	10.039,90 km	NÃO	NÃO	-	-
$i_{\text{cons}} = 25\%$					
CENÁRIO	DISTÂNCIA VIÁVEL	VIABILIDADE		RETORNO FINANCEIRO	
		- 5%	+ 5%	- 5%	+ 5%
A.1	2.587,63 km	SIM	SIM	R\$ 21.429,03	R\$ 27.108,46
A.2	2.452,96 km	SIM	SIM	R\$ 24.425,78	R\$ 30.420,65
B.1	3.263,21 km	SIM	SIM	R\$ 10.430,25	R\$ 15.070,08
B.2	3.134,38 km	SIM	SIM	R\$ 12.263,34	R\$ 17.096,12
C.1	4.388,29 km	NÃO	SIM	-	R\$ 2.513,28
C.2	4.271,47 km	NÃO	SIM	-	R\$ 3.546,13
D.1	6.717,15 km	NÃO	NÃO	-	-
D.2	6.547,76 km	NÃO	NÃO	-	-
$i_{\text{cons}} = 30\%$					
CENÁRIO	DISTÂNCIA VIÁVEL	VIABILIDADE		RETORNO FINANCEIRO	
		- 5%	+ 5%	- 5%	+ 5%
A.1	2.242,62 km	SIM	SIM	R\$ 29.831,23	R\$ 36.384,41
A.2	2.125,89 km	SIM	SIM	R\$ 33.289,01	R\$ 40.206,17
B.1	2.828,12 km	SIM	SIM	R\$ 17.295,48	R\$ 22.649,13
B.2	2.716,46 km	SIM	SIM	R\$ 19.410,57	R\$ 24.986,86
C.1	3.803,19 km	SIM	SIM	R\$ 4.218,77	R\$ 8.319,74
C.2	3.701,94 km	SIM	SIM	R\$ 5.297,01	R\$ 9.511,48
D.1	5.821,53 km	NÃO	NÃO	-	-
D.2	5.674,72 km	NÃO	NÃO	-	-

Fonte: Elaboração do autor

A tabela 153 apresenta a viabilidade financeira do sistema híbrido considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46 e difere da tabela 152 somente com relação aos valores de retorno financeiro, que tiveram um pequeno acréscimo. Por exemplo, para o cenário A.1 e  $i_{\text{cons}} = 25\%$ , o acréscimo foi de 3,18% para uma redução de 5% na distância média percorrida e de 2,49% para um aumento de 5% dessa distância. Já para o cenário A.2 e  $i_{\text{cons}} = 25\%$ , o acréscimo foi de 2,78 e 2,22% para variações da distância de -5% e +5%, respectivamente. Ainda, os tempos de retorno do investimento permaneceram-se inalterados.

**Tabela 154 – Viabilidade financeira com a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b><math>i_{\text{cons}} = 15\%</math></b>					
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>		<b>RETORNO FINANCEIRO</b>	
		<b>- 5%</b>	<b>+ 5%</b>	<b>- 5%</b>	<b>+ 5%</b>
A.1	3.746,80 km	SIM	SIM	R\$ 4.641,94	R\$ 8.345,91
A.2	3.562,11 km	SIM	SIM	R\$ 6.596,33	R\$ 10.506,03
B.1	4.721,82 km	NÃO	NÃO	-	-
B.2	4.545,51 km	NÃO	SIM	-	R\$ 1.083,11
C.1	6.345,39 km	NÃO	NÃO	-	-
C.2	6.185,84 km	NÃO	NÃO	-	-
D.1	9.590,25 km	NÃO	NÃO	-	-
D.2	9.468,47 km	NÃO	NÃO	-	-
<b><math>i_{\text{cons}} = 25\%</math></b>					
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>		<b>RETORNO FINANCEIRO</b>	
		<b>- 5%</b>	<b>+ 5%</b>	<b>- 5%</b>	<b>+ 5%</b>
A.1	2.443,56 km	SIM	SIM	R\$ 24.816,42	R\$ 30.495,85
A.2	2.323,12 km	SIM	SIM	R\$ 27.813,17	R\$ 33.808,04
B.1	3.079,45 km	SIM	SIM	R\$ 13.231,54	R\$ 17.871,37
B.2	2.964,46 km	SIM	SIM	R\$ 15.064,62	R\$ 19.897,41
C.1	4.138,29 km	NÃO	SIM	R\$ 1.131,80	R\$ 4.685,97
C.2	4.034,24 km	NÃO	SIM	R\$ 2.066,27	R\$ 5.718,81
D.1	6.254,51 km	NÃO	NÃO	-	-
D.2	6.175,09 km	NÃO	NÃO	-	-
<b><math>i_{\text{cons}} = 30\%</math></b>					
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>		<b>RETORNO FINANCEIRO</b>	
		<b>- 5%</b>	<b>+ 5%</b>	<b>- 5%</b>	<b>+ 5%</b>
A.1	2.117,76 km	SIM	SIM	R\$ 33.739,75	R\$ 40.292,94
A.2	2.013,37 km	SIM	SIM	R\$ 37.197,53	R\$ 44.114,70
B.1	2.668,86 km	SIM	SIM	R\$ 20.527,73	R\$ 25.881,38
B.2	2.569,20 km	SIM	SIM	R\$ 22.642,82	R\$ 28.219,11
C.1	3.586,52 km	SIM	SIM	R\$ 6.725,72	R\$ 10.826,69
C.2	3.496,34 km	SIM	SIM	R\$ 7.803,96	R\$ 12.018,43
D.1	5.420,58 km	NÃO	NÃO	-	-
D.2	5.351,75 km	NÃO	NÃO	-	-

Fonte: Elaboração do autor

Comparando-se a tabela 154 com a tabela 153, verifica-se que a única diferença com relação à viabilidade é que o cenário B.2, para  $i_{\text{cons}} = 15\%$  e um acréscimo de 5% na distância média mensal percorrida, se tornou favorável à instalação do sistema híbrido, com um retorno financeiro de R\$ 1.083,11.

Assim, os valores obtidos para o tempo de retorno do investimento, considerando a redução de 5%, são: para  $i_{\text{cons}} = 15\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 5$  anos; para  $i_{\text{cons}} = 25\%$  e  $i_{\text{cons}} = 30\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 3$  anos. Já para o acréscimo de 5%, tem-se: para  $i_{\text{cons}} = 15\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 4$  anos (somente para B.2); para  $i_{\text{cons}} = 25\%$  e  $i_{\text{cons}} = 30\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 3$  anos.

Com relação aos valores de retorno financeiro, observa-se um aumento considerável em comparação com os da tabela 152. Por exemplo, tomando-se o cenário A.2 e  $i_{\text{cons}} = 25\%$ , o acréscimo no valor foi de 17,03 e de 13,60%, para variações da distância de -5% e +5%, respectivamente.

As tabelas 155, 156 e 157 foram construídas da mesma forma que as tabelas 152, 153 e 154, porém, com uma variação da distância média mensal de 10%, para menos e para mais.

Tabela 155 – Viabilidade financeira sem venda de crédito de carbono

$i_{\text{cons}} = 15\%$					
CENÁRIO	DISTÂNCIA VIÁVEL	VIABILIDADE		RETORNO FINANCEIRO	
		- 10%	+ 10%	- 10%	+ 10%
A.1	4.013,79 km	SIM	SIM	R\$ 150,54	R\$ 7.558,49
A.2	3.802,59 km	SIM	SIM	R\$ 2.002,08	R\$ 9.821,48
B.1	5.062,42 km	NÃO	NÃO	-	-
B.2	4.860,30 km	NÃO	SIM	-	R\$ 476,30
C.1	6.808,83 km	NÃO	NÃO	-	-
C.2	6.625,46 km	NÃO	NÃO	-	-
D.1	10.299,63 km	NÃO	NÃO	-	-
D.2	10.159,30 km	NÃO	NÃO	-	-

$i_{\text{cons}} = 25\%$					
CENÁRIO	DISTÂNCIA VIÁVEL	VIABILIDADE		RETORNO FINANCEIRO	
		- 10%	+ 10%	- 10%	+ 10%
A.1	2.617,69 km	SIM	SIM	R\$ 17.929,62	R\$ 29.288,47
A.2	2.479,95 km	SIM	SIM	R\$ 20.768,64	R\$ 32.758,39
B.1	3.301,58 km	SIM	SIM	R\$ 7.564,78	R\$ 16.844,44
B.2	3.169,76 km	SIM	SIM	R\$ 9.301,39	R\$ 18.966,96
C.1	4.440,54 km	NÃO	SIM	-	R\$ 3.867,24
C.2	4.320,95 km	NÃO	SIM	-	R\$ 4.949,26
D.1	6.717,15 km	NÃO	NÃO	-	-
D.2	6.625,63 km	NÃO	NÃO	-	-

$i_{\text{cons}} = 30\%$					
CENÁRIO	DISTÂNCIA VIÁVEL	VIABILIDADE		RETORNO FINANCEIRO	
		- 10%	+ 10%	- 10%	+ 10%
A.1	2.268,66 km	SIM	SIM	R\$ 25.793,44	R\$ 38.899,81
A.2	2.149,29 km	SIM	SIM	R\$ 29.069,24	R\$ 42.903,56
B.1	2.861,37 km	SIM	SIM	R\$ 13.989,16	R\$ 24.696,47
B.2	2.747,13 km	SIM	SIM	R\$ 15.992,94	R\$ 27.145,52
C.1	3.848,47 km	SIM	SIM	R\$ 1.680,05	R\$ 9.882,00
C.2	3.744,82 km	SIM	SIM	R\$ 2.701,54	R\$ 11.130,48
D.1	5.821,53 km	NÃO	NÃO	-	-
D.2	5.742,21 km	NÃO	NÃO	-	-

Fonte: Elaboração do autor

Comparando-se a tabela 155 com a tabela 149, verifica-se que a redução em 10% na distância média percorrida pelo veículo tornou a instalação do sistema híbrido inviável para os cenários C.1 e C.2, considerando uma taxa  $i_{\text{cons}} = 25\%$ , pois a nova distância mensal de 4.032 km é inferior às distâncias viáveis encontradas para estes cenários. Assim, o tempo de retorno do investimento, para cada  $i_{\text{cons}}$ , vale: para  $i_{\text{cons}} = 15\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 5$  anos; para  $i_{\text{cons}} = 25\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 4$  anos; e  $i_{\text{cons}} = 30\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 3$  anos.

Nos demais casos, em que a instalação do sistema híbrido continuou sendo viável, houve uma diminuição do valor de retorno financeiro, como esperado. Por exemplo,

para os cenários A.1 e A.2, considerando  $i_{\text{cons}} = 25\%$ , houve uma redução de 24,06 e 22,40%, respectivamente.

O aumento em 10% na distância média mensal, que passou a valer 4.928 km, permitiu que o cenário B.2, para  $i_{\text{cons}} = 15\%$ , se tornasse viável. Assim, os valores obtidos para o tempo de retorno do investimento, considerando o acréscimo de 10%, são: para  $i_{\text{cons}} = 15\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 4$  anos (somente para B.2); para  $i_{\text{cons}} = 25\%$  e  $i_{\text{cons}} = 30\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 3$  anos.

Além da alteração na viabilidade, houve um acréscimo no valor do retorno financeiro, como se pode observar nos cenários A.1 e A.2, para  $i_{\text{cons}} = 25\%$ , dos mesmos valores percentuais encontrados na situação de decréscimo da distância: 24,06 e 22,40%, respectivamente.

Para a condição de operacionalidade real do veículo com compactador de 19 m<sup>3</sup>, variando-se a distância média percorrida em 5 ou 10%, para menos, a instalação do sistema híbrido diesel-hidráulico permanece viável. Há, porém, uma redução no retorno financeiro que, no pior dos casos - cenário A.1 e redução de 10% dessa distância -, vale R\$ 18.589,32, correspondendo a 4,83% do valor do veículo novo com a unidade compactadora.

As tabelas 156 e 157 foram elaboradas nos moldes da tabela 155, porém, considerando-se a venda de crédito de carbono.

**Tabela 156 – Viabilidade financeira com a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b><math>i_{\text{cons}} = 15\%</math></b>					
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>		<b>RETORNO FINANCEIRO</b>	
		<b>- 10%</b>	<b>+ 10%</b>	<b>- 10%</b>	<b>+ 10%</b>
A.1	3.967,70 km	SIM	SIM	R\$ 580,78	R\$ 7.988,73
A.2	3.761,20 km	SIM	SIM	R\$ 2.432,32	R\$ 10.251,72
B.1	5.003,59 km	NÃO	NÃO	-	-
B.2	4.806,04 km	NÃO	SIM	-	R\$ 832,10
C.1	6.728,72 km	NÃO	NÃO	-	-
C.2	6.549,58 km	NÃO	NÃO	-	-
D.1	10.299,63 km	NÃO	NÃO	-	-
D.2	10.039,90 km	NÃO	NÃO	-	-
<b><math>i_{\text{cons}} = 25\%</math></b>					
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>		<b>RETORNO FINANCEIRO</b>	
		<b>- 10%</b>	<b>+ 10%</b>	<b>- 10%</b>	<b>+ 10%</b>
A.1	2.587,63 km	SIM	SIM	R\$ 18.589,32	R\$ 29.948,17
A.2	2.452,96 km	SIM	SIM	R\$ 21.428,34	R\$ 33.418,09
B.1	3.263,21 km	SIM	SIM	R\$ 8.110,34	R\$ 17.390,00
B.2	3.134,38 km	SIM	SIM	R\$ 9.846,94	R\$ 19.512,52
C.1	4.388,29 km	NÃO	SIM	-	R\$ 4.290,37
C.2	4.271,47 km	NÃO	SIM	-	R\$ 5.372,40
D.1	6.717,15 km	NÃO	NÃO	-	-
D.2	6.547,76 km	NÃO	NÃO	-	-
<b><math>i_{\text{cons}} = 30\%</math></b>					
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>		<b>RETORNO FINANCEIRO</b>	
		<b>- 10%</b>	<b>+ 10%</b>	<b>- 10%</b>	<b>+ 10%</b>
A.1	2.242,62 km	SIM	SIM	R\$ 26.554,63	R\$ 39.661,00
A.2	2.125,89 km	SIM	SIM	R\$ 29.830,43	R\$ 43.664,75
B.1	2.828,12 km	SIM	SIM	R\$ 14.618,65	R\$ 25.325,95
B.2	2.716,46 km	SIM	SIM	R\$ 16.622,42	R\$ 27.775,01
C.1	3.803,19 km	SIM	SIM	R\$ 2.168,28	R\$ 10.370,23
C.2	3.701,94 km	SIM	SIM	R\$ 3.189,78	R\$ 11.618,72
D.1	5.821,53 km	NÃO	NÃO	-	-
D.2	5.674,72 km	NÃO	NÃO	-	-

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 157 – Viabilidade financeira com a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b><math>i_{\text{cons}} = 15\%</math></b>					
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>		<b>RETORNO FINANCEIRO</b>	
		<b>- 10%</b>	<b>+ 10%</b>	<b>- 10%</b>	<b>+ 10%</b>
A.1	3.746,80 km	SIM	SIM	R\$ 2.789,95	R\$ 10.197,90
A.2	3.562,11 km	SIM	SIM	R\$ 4.641,48	R\$ 12.460,88
B.1	4.721,82 km	NÃO	SIM	-	R\$ 1.274,77
B.2	4.545,51 km	NÃO	SIM	-	R\$ 2.659,02
C.1	6.345,39 km	NÃO	NÃO	-	-
C.2	6.185,84 km	NÃO	NÃO	-	-
D.1	9.590,25 km	NÃO	NÃO	-	-
D.2	9.468,47 km	NÃO	NÃO	-	-

<b><math>i_{\text{cons}} = 25\%</math></b>					
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>		<b>RETORNO FINANCEIRO</b>	
		<b>- 10%</b>	<b>+ 10%</b>	<b>- 10%</b>	<b>+ 10%</b>
A.1	2.443,56 km	SIM	SIM	R\$ 21.976,71	R\$ 33.335,56
A.2	2.323,12 km	SIM	SIM	R\$ 24.815,73	R\$ 36.805,48
B.1	3.079,45 km	SIM	SIM	R\$ 10.911,62	R\$ 20.191,28
B.2	2.964,46 km	SIM	SIM	R\$ 12.648,23	R\$ 22.313,80
C.1	4.138,29 km	NÃO	SIM	-	R\$ 6.463,06
C.2	4.034,24 km	SIM	SIM	R\$ 240,00	R\$ 7.545,08
D.1	6.254,51 km	NÃO	NÃO	-	-
D.2	6.175,09 km	NÃO	NÃO	-	-

<b><math>i_{\text{cons}} = 30\%</math></b>					
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>		<b>RETORNO FINANCEIRO</b>	
		<b>- 10%</b>	<b>+ 10%</b>	<b>- 10%</b>	<b>+ 10%</b>
A.1	2.117,76 km	SIM	SIM	R\$ 30.463,16	R\$ 43.569,53
A.2	2.013,37 km	SIM	SIM	R\$ 33.738,95	R\$ 47.573,28
B.1	2.668,86 km	SIM	SIM	R\$ 17.850,90	R\$ 28.558,20
B.2	2.569,20 km	SIM	SIM	R\$ 19.854,68	R\$ 31.007,26
C.1	3.586,52 km	SIM	SIM	R\$ 4.675,23	R\$ 12.877,17
C.2	3.496,34 km	SIM	SIM	R\$ 5.696,72	R\$ 14.125,66
D.1	5.420,58 km	NÃO	NÃO	-	-
D.2	5.351,75 km	NÃO	NÃO	-	-

Fonte: Elaboração do autor

Considerando-se a possibilidade da venda de crédito de carbono, alguns cenários, que antes não eram viáveis à aquisição de um veículo híbrido, passaram a ser. No caso do valor do crédito igual a R\$ 8,46, o cenário B.2 tornou-se viável, para  $i_{\text{cons}} = 15\%$ . Já para um valor do crédito de R\$ 51,90, os cenários B.1 e B.2, com  $i_{\text{cons}} = 15\%$  e C.2, com  $i_{\text{cons}} = 25\%$ , passaram à condição de viáveis para o aumento e redução de 10% na distância média, respectivamente. Tal como aconteceu nos casos anteriores, a venda de crédito de carbono provoca um aumento no retorno financeiro, sendo mais expressivo, obviamente, para uma valor maior do crédito de carbono.

Para o valor de R\$ 8,46 do crédito de carbono, o tempo de retorno do investimento, considerando a redução de 10% e cada taxa  $i_{\text{cons}}$ , vale: para  $i_{\text{cons}} = 15\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 5$  anos; para  $i_{\text{cons}} = 25\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 3$  anos (somente para C.2); e  $i_{\text{cons}} = 30\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 3$  anos. Já para o acréscimo de 10%, tem-se: para  $i_{\text{cons}} = 15\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 4$  anos; para  $i_{\text{cons}} = 25\%$  e  $i_{\text{cons}} = 30\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 3$  anos.

Tomando-se o valor de R\$ 51,90 para o crédito de carbono, o tempo de retorno do investimento, considerando a redução de 10% e cada taxa  $i_{\text{cons}}$ , vale: para  $i_{\text{cons}} = 15\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 5$  anos; para  $i_{\text{cons}} = 25\%$  e  $i_{\text{cons}} = 30\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 3$  anos. Para o acréscimo de 10% são encontrados estes mesmos valores.

### **5.1.2. Veículo com compactador de 15 m<sup>3</sup>**

Para a análise financeira deste veículo, foi estabelecido o mesmo procedimento realizado com o veículo com compactador de 19 m<sup>3</sup>. Dessa forma, as tabelas 158, 159 e 160 apresentam as distâncias a partir das quais a instalação do sistema híbrido é viável, para todos os cenários definidos no capítulo 4 e cada uma das taxas de redução de consumo de combustível consideradas neste trabalho, incluindo ou não a possibilidade da venda de crédito de carbono.

**Tabela 158 – Viabilidade financeira sem venda de crédito de carbono**

<b><math>i_{\text{cons}} = 15\%</math></b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>	<b>RETORNO FINANCEIRO</b>
A.1	4.312,04 km	NÃO	-
A.2	4.085,14 km	SIM	R\$ 884,46
B.1	5.391,00 km	NÃO	-
B.2	5.175,75 km	NÃO	-
C.1	7.188,87 km	NÃO	-
C.2	6.995,26 km	NÃO	-
D.1	10.783,99 km	NÃO	-
D.2	10.637,07 km	NÃO	-
<b><math>i_{\text{cons}} = 25\%</math></b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>	<b>RETORNO FINANCEIRO</b>
A.1	2.812,20 km	SIM	R\$ 15.523,74
A.2	2.664,22 km	SIM	R\$ 18.133,13
B.1	3.515,87 km	SIM	R\$ 6.251,82
B.2	3.375,49 km	SIM	R\$ 7.847,97
C.1	4.688,39 km	NÃO	-
C.2	4.562,13 km	NÃO	-
D.1	7.033,04 km	NÃO	-
D.2	6.937,22 km	NÃO	-
<b><math>i_{\text{cons}} = 30\%</math></b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>	<b>RETORNO FINANCEIRO</b>
A.1	2.437,24 km	SIM	R\$ 22.751,52
A.2	2.308,99 km	SIM	R\$ 25.762,36
B.1	3.047,09 km	SIM	R\$ 12.156,58
B.2	2.925,43 km	SIM	R\$ 13.998,29
C.1	4.063,27 km	SIM	R\$ 1.104,35
C.2	3.953,85 km	SIM	R\$ 2.043,22
D.1	6.095,30 km	NÃO	-
D.2	6.012,25 km	NÃO	-

Fonte: Elaboração do autor

Da tabela 9, tem-se que a distância média mensal percorrida por este veículo é de 4.200 km. Assim como no veículo anterior, para este, os cenários que melhor retratam a realidade são: A.1 e A.2.

Considerando-se estes cenários, a tabela 158 mostra que a instalação do sistema híbrido neste tipo de veículo somente não é viável para o A.1, com  $i_{\text{cons}} = 15\%$ . Em especial, para  $i_{\text{cons}} = 25\%$ , o retorno financeiro para os cenários A.1 e A.2 vale R\$ 15.523,74 e R\$ 18.133,13, respectivamente.

Supondo-se um menor acréscimo no preço do óleo diesel nos próximos 5 anos, situação representada pelo cenário A.1, obtém-se um retorno financeiro que vale cerca de 4,44%

do valor do veículo novo com a unidade compactadora. Considerando a possibilidade de aumento maior no preço do óleo diesel, retratada no cenário A.2, o retorno financeiro alcançado representa, aproximadamente, 5,18% do valor do veículo novo com compactador.

Ainda, da tabela 158, constata-se que, considerando  $i_{\text{cons}} = 15\%$ , somente para o cenário A.2 é viável a instalação do sistema híbrido. Para  $i_{\text{cons}} = 25\%$ , só os cenários com tempo de renovação da frota de 5 e 4 anos são favoráveis à aquisição de um veículo híbrido diesel-hidráulico. Por fim, para  $i_{\text{cons}} = 30\%$ , em todos os cenários, a exceção de D.1 e D.2, o sistema híbrido é viável. Assim, o tempo de retorno do investimento, para cada  $i_{\text{cons}}$ , vale: para  $i_{\text{cons}} = 15\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 5$  anos (somente para A.2); para  $i_{\text{cons}} = 25\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 4$  anos; e  $i_{\text{cons}} = 30\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 3$  anos.

O maior retorno é obtido para  $i_{\text{cons}} = 30\%$ , no cenário A.2, com o valor de R\$ 25.762,36, representando cerca de 7,36% do valor do veículo novo com compactador.

**Tabela 159 – Viabilidade financeira com venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b><math>i_{\text{cons}} = 15\%</math></b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>	<b>RETORNO FINANCEIRO</b>
A.1	4.262,53 km	NÃO	-
A.2	4.040,68 km	SIM	R\$ 1.265,77
B.1	5.328,35 km	NÃO	-
B.2	5.117,98 km	NÃO	-
C.1	7.104,29 km	NÃO	-
C.2	6.915,16 km	NÃO	-
D.1	10.655,52 km	NÃO	-
D.2	10.512,05 km	NÃO	-
<b><math>i_{\text{cons}} = 25\%</math></b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>	<b>RETORNO FINANCEIRO</b>
A.1	2.779,91 km	SIM	R\$ 16.108,42
A.2	2.635,22 km	SIM	R\$ 18.717,82
B.1	3.475,01 km	SIM	R\$ 6.735,34
B.2	3.337,81 km	SIM	R\$ 8.331,49
C.1	4.633,23 km	NÃO	-
C.2	4.509,88 km	NÃO	-
D.1	6.949,25 km	NÃO	-
D.2	6.855,68 km	NÃO	-
<b><math>i_{\text{cons}} = 30\%</math></b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>	<b>RETORNO FINANCEIRO</b>
A.1	2.409,25 km	SIM	R\$ 23.426,15
A.2	2.283,86 km	SIM	R\$ 26.436,99
B.1	3.011,67 km	SIM	R\$ 12.714,49
B.2	2.892,77 km	SIM	R\$ 14.556,20
C.1	4.015,47 km	SIM	R\$ 1.537,07
C.2	3.908,57 km	SIM	R\$ 2.475,94
D.1	6.022,68 km	NÃO	-
D.2	5.941,59 km	NÃO	-

Fonte: Elaboração do autor

Na tabela 159, considerando os cenários A.1 e A.2, para  $i_{\text{cons}} = 25\%$ , verifica-se que a introdução do sistema híbrido diesel-hidráulico no caminhão é viável, contabilizando um retorno financeiro de R\$ 16.108,42 para A.1 e de R\$ 18.717,82 para A.2, representando 4,60 e 5,35% do valor de um veículo novo com carroceria, respectivamente.

Observa-se, então, que a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46 representou um acréscimo de 3,77 e 3,22% no retorno financeiro para os cenários A.1 e A.2, respectivamente. O maior retorno financeiro é obtido para  $i_{\text{cons}} = 30\%$ , no cenário A.2, com o valor de R\$ 26.436,99, representando cerca de 7,55% do valor do veículo novo com compactador.

Para o valor do crédito de carbono considerado, o tempo de retorno do investimento, para cada  $i_{\text{cons}}$ , vale: para  $i_{\text{cons}} = 15\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 5$  anos (somente para A.2); para  $i_{\text{cons}} = 25\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 4$  anos; e  $i_{\text{cons}} = 30\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 3$  anos.

**Tabela 160 – Viabilidade financeira com venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b><math>i_{\text{cons}} = 15\%</math></b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>	<b>RETORNO FINANCEIRO</b>
A.1	4.025,21 km	SIM	R\$ 1.521,96
A.2	3.826,80 km	SIM	R\$ 3.223,74
B.1	5.028,29 km	NÃO	-
B.2	4.840,53 km	NÃO	-
C.1	6.699,56 km	NÃO	-
C.2	6.531,11 km	NÃO	-
D.1	10.041,25 km	NÃO	-
D.2	9.913,75 km	NÃO	-
<b><math>i_{\text{cons}} = 25\%</math></b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>	<b>RETORNO FINANCEIRO</b>
A.1	2.625,13 km	SIM	R\$ 19.110,64
A.2	2.495,74 km	SIM	R\$ 21.720,04
B.1	3.279,32 km	SIM	R\$ 9.218,10
B.2	3.156,87 km	SIM	R\$ 10.814,24
C.1	4.369,28 km	NÃO	-
C.2	4.259,42 km	NÃO	-
D.1	6.548,64 km	NÃO	-
D.2	6.465,49 km	NÃO	-
<b><math>i_{\text{cons}} = 30\%</math></b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>	<b>RETORNO FINANCEIRO</b>
A.1	2.275,12 km	SIM	R\$ 26.890,25
A.2	2.162,97 km	SIM	R\$ 29.901,09
B.1	2.842,08 km	SIM	R\$ 15.579,21
B.2	2.735,95 km	SIM	R\$ 17.420,92
C.1	3.786,71 km	SIM	R\$ 3.758,95
C.2	3.691,49 km	SIM	R\$ 4.697,82
D.1	5.675,49 km	NÃO	-
D.2	5.603,42 km	NÃO	-

Fonte: Elaboração do autor

Na tabela 160, para os cenários A.1 e A.2, e  $i_{\text{cons}} = 25\%$ , constata-se que a introdução do sistema híbrido diesel-hidráulico no caminhão é viável, e o retorno financeiro alcançado é de R\$ 19.110,64 para A.1 e de R\$ 21.720,04 para A.2, representando 5,46 e 6,21% do valor de um veículo novo com compactador, respectivamente.

Dessa forma, observa-se que a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90 representou um acréscimo de 23,11 e 19,78% no retorno financeiro para os cenários A.1 e A.2,

respectivamente, em comparação com a situação em que não foi considerada essa operação de venda. Esses valores são expressivos, indicando que a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90 pode ser vantajosa para a empresa detentora da frota.

Diferentemente dos casos anteriores, neste, o cenário A.1, para  $i_{\text{cons}} = 15\%$ , tornou-se viável, com um retorno financeiro equivalente a R\$ 1.521,96. Assim, o tempo de retorno do investimento, para cada  $i_{\text{cons}}$ , vale: para  $i_{\text{cons}} = 15\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 5$  anos; para  $i_{\text{cons}} = 25\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 4$  anos; e  $i_{\text{cons}} = 30\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 3$  anos.

Nesta tabela, o maior retorno financeiro é obtido para  $i_{\text{cons}} = 30\%$ , no cenário A.2, com o valor de R\$ 29.901,09, representando cerca de 8,54% do valor do veículo novo com carroceria.

### **5.1.3. Veículo com compactador de 10 m<sup>3</sup>**

Para a análise financeira deste veículo, foi estabelecido o mesmo procedimento realizado com os veículos anteriores. Dessa forma, as tabelas 161, 162 e 163 apresentam as distâncias a partir das quais a instalação do sistema híbrido é viável, para todos os cenários definidos no capítulo 4 e cada uma das taxas de redução de consumo de combustível consideradas neste trabalho, incluindo ou não a possibilidade da venda de crédito de carbono.

**Tabela 161 – Viabilidade financeira sem venda de crédito de carbono**

<b><math>i_{\text{cons}} = 15\%</math></b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>	<b>RETORNO FINANCEIRO</b>
A.1	4.456,37 km	NÃO	R\$ 922,41
A.2	4.221,88 km	SIM	R\$ 1.654,89
B.1	5.573,47 km	NÃO	-
B.2	5.350,95 km	NÃO	-
C.1	7.434,86 km	NÃO	-
C.2	7.234,64 km	NÃO	-
D.1	11.156,94 km	NÃO	-
D.2	11.004,93 km	NÃO	-
<b><math>i_{\text{cons}} = 25\%</math></b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>	<b>RETORNO FINANCEIRO</b>
A.1	2.906,33 km	SIM	R\$ 14.812,31
A.2	2.753,40 km	SIM	R\$ 15.935,45
B.1	3.634,87 km	SIM	R\$ 6.109,02
B.2	3.489,75 km	SIM	R\$ 7.430,50
C.1	4.848,82 km	NÃO	-
C.2	4.718,24 km	NÃO	-
D.1	7.276,27 km	NÃO	-
D.2	7.177,13 km	NÃO	-
<b><math>i_{\text{cons}} = 30\%</math></b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>	<b>RETORNO FINANCEIRO</b>
A.1	2.518,82 km	SIM	R\$ 20.955,92
A.2	2.386,28 km	SIM	R\$ 22.251,85
B.1	3.150,22 km	SIM	R\$ 10.997,70
B.2	3.024,45 km	SIM	R\$ 12.522,49
C.1	4.202,31 km	SIM	R\$ 2.606,92
C.2	4.089,14 km	SIM	R\$ 3.404,95
D.1	6.306,10 km	NÃO	-
D.2	6.220,18 km	NÃO	-

Fonte: Elaboração do autor

Da tabela 9, tem-se que a distância média mensal percorrida por este veículo é de 4.620 km. Assim como no veículo anterior, para este, os cenários que melhor retratam a realidade são: A.1 e A.2.

Considerando-se estes cenários, a tabela 161 mostra que a instalação do sistema híbrido neste tipo de veículo é viável para todas as taxas de redução no consumo de combustível. Em especial, para  $i_{\text{cons}} = 25\%$ , o retorno financeiro para os cenários A.1 e A.2 vale R\$ 14.812,31 e R\$ 15.935,45, respectivamente. Tais valores correspondem a 5,29 e 5,69% do valor de um veículo novo com compactador.

Ainda, da tabela 161 constata-se que, considerando  $i_{\text{cons}} = 15\%$ , somente os cenários A.1 e A.2 são viáveis para a instalação do sistema híbrido. Para  $i_{\text{cons}} = 25\%$ , só os cenários com tempo de renovação da frota de 5 e 4 são favoráveis à aquisição de um veículo híbrido diesel-hidráulico. Por último, para  $i_{\text{cons}} = 30\%$ , em todos os cenários, a exceção de D.1 e D.2, o sistema híbrido é viável. Assim, o tempo de retorno do investimento, para cada  $i_{\text{cons}}$ , vale: para  $i_{\text{cons}} = 15\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 5$  anos; para  $i_{\text{cons}} = 25\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 4$  anos; e  $i_{\text{cons}} = 30\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 3$  anos.

O maior retorno financeiro é obtido para  $i_{\text{cons}} = 30\%$ , no cenário A.2, com o valor de R\$ 22.251,85, representando cerca de 7,95% do valor do veículo novo com carroceria.

**Tabela 162 – Viabilidade financeira com venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

$i_{\text{cons}} = 15\%$			
CENÁRIO	DISTÂNCIA VIÁVEL	VIABILIDADE	RETORNO FINANCEIRO
A.1	4.405,20 km	NÃO	R\$ 1.217,06
A.2	4.175,92 km	SIM	R\$ 1.949,54
B.1	5.508,70 km	NÃO	-
B.2	5.291,22 km	NÃO	-
C.1	7.347,39 km	NÃO	-
C.2	7.151,79 km	NÃO	-
D.1	11.024,02 km	NÃO	-
D.2	10.875,59 km	NÃO	-
$i_{\text{cons}} = 25\%$			
CENÁRIO	DISTÂNCIA VIÁVEL	VIABILIDADE	RETORNO FINANCEIRO
A.1	2.872,96 km	SIM	R\$ 15.264,11
A.2	2.723,43 km	SIM	R\$ 16.387,25
B.1	3.592,63 km	SIM	R\$ 6.482,65
B.2	3.450,79 km	SIM	R\$ 7.804,13
C.1	4.791,78 km	NÃO	-
C.2	4.664,21 km	NÃO	-
D.1	7.189,58 km	NÃO	-
D.2	7.092,78 km	NÃO	-
$i_{\text{cons}} = 30\%$			
CENÁRIO	DISTÂNCIA VIÁVEL	VIABILIDADE	RETORNO FINANCEIRO
A.1	2.489,90 km	SIM	R\$ 21.477,23
A.2	2.360,31 km	SIM	R\$ 22.773,16
B.1	3.113,61 km	SIM	R\$ 11.428,81
B.2	2.990,69 km	SIM	R\$ 12.953,60
C.1	4.152,87 km	SIM	R\$ 2.941,29
C.2	4.042,31 km	SIM	R\$ 3.739,33
D.1	6.230,97 km	NÃO	-
D.2	6.147,07 km	NÃO	-

Fonte: Elaboração do autor

Na tabela 162, considerando os cenários A.1 e A.2, para  $i_{\text{cons}} = 25\%$ , verifica-se que a introdução do sistema híbrido diesel-hidráulico no caminhão é viável, contabilizando um retorno financeiro de R\$ 15.264,11 para A.1 e de R\$ 16.387,25 para A.2, representando 5,45 e 5,85% do valor de um veículo novo com compactador, respectivamente.

Observa-se, então, que a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46 representou um acréscimo de 3,05 e 2,84% no retorno financeiro para os cenários A.1 e A.2, respectivamente. O maior retorno financeiro é obtido para  $i_{\text{cons}} = 30\%$ , no cenário A.2, com o valor de R\$ 22.773,16, representando cerca de 8,13% do valor do veículo novo com carroceria.

Para o valor do crédito de carbono considerado, o tempo de retorno do investimento, para cada  $i_{\text{cons}}$ , vale: para  $i_{\text{cons}} = 15\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 5$  anos; para  $i_{\text{cons}} = 25\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 4$  anos; e  $i_{\text{cons}} = 30\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 3$  anos.

**Tabela 163 – Viabilidade financeira com venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b><math>i_{\text{cons}} = 15\%</math></b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>	<b>RETORNO FINANCEIRO</b>
A.1	4.159,94 km	SIM	R\$ 2.730,03
A.2	3.954,89 km	SIM	R\$ 3.462,52
B.1	5.198,49 km	NÃO	-
B.2	5.004,38 km	NÃO	-
C.1	6.928,81 km	NÃO	-
C.2	6.754,60 km	NÃO	-
D.1	10.388,52 km	NÃO	-
D.2	10.256,60 km	NÃO	-
<b><math>i_{\text{cons}} = 25\%</math></b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>	<b>RETORNO FINANCEIRO</b>
A.1	2.713,00 km	SIM	R\$ 17.584,01
A.2	2.579,27 km	SIM	R\$ 18.707,15
B.1	3.390,32 km	SIM	R\$ 8.401,14
B.2	3.263,73 km	SIM	R\$ 9.722,63
C.1	4.518,79 km	NÃO	R\$ 540,03
C.2	4.405,17 km	NÃO	R\$ 1.231,67
D.1	6.775,12 km	NÃO	-
D.2	6.689,09 km	NÃO	-
<b><math>i_{\text{cons}} = 30\%</math></b>			
<b>CENÁRIO</b>	<b>DISTÂNCIA VIÁVEL</b>	<b>VIABILIDADE</b>	<b>RETORNO FINANCEIRO</b>
A.1	2.351,27 km	SIM	R\$ 24.154,03
A.2	2.235,37 km	SIM	R\$ 25.449,96
B.1	2.938,28 km	SIM	R\$ 13.642,46
B.2	2.828,56 km	SIM	R\$ 15.167,25
C.1	3.916,29 km	SIM	R\$ 4.658,20
C.2	3.817,81 km	SIM	R\$ 5.456,24
D.1	5.871,77 km	NÃO	-
D.2	5.797,21 km	NÃO	-

Fonte: Elaboração do autor

Na tabela 163, considerando os cenários A.1 e A.2, e  $i_{\text{cons}} = 25\%$ , constata-se que a introdução do sistema híbrido diesel-hidráulico no caminhão é viável, e o retorno financeiro alcançado é de R\$ 17.584,01 para A.1 e de R\$ 18.707,15 para A.2, representando 6,28 e 6,68% do valor de um veículo novo com compactador, respectivamente.

Dessa forma, observa-se que a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90 representou um acréscimo de 18,71 e 17,39% no retorno financeiro para os cenários A.1 e A.2, respectivamente, em comparação com a situação em que não foi considerada essa operação de venda. Esses valores são expressivos, indicando que a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90 pode ser vantajosa para a empresa detentora da frota.

Diferentemente dos casos anteriores, neste, os cenários C.1 e C.2, para  $i_{\text{cons}} = 25\%$ , tornaram-se viáveis, com um retorno financeiro equivalente a R\$ 540,03 e R\$ 1.231,67, respectivamente. Assim, o tempo de retorno do investimento, para cada  $i_{\text{cons}}$ , vale: para  $i_{\text{cons}} = 15\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 5$  anos; para  $i_{\text{cons}} = 25\%$  e  $i_{\text{cons}} = 30\%$ ,  $T_{\text{PB}} = 3$  anos.

Nesta tabela, o maior retorno financeiro é obtido para  $i_{\text{cons}} = 30\%$ , no cenário A.2, com o valor de R\$ 25.449,96, representando cerca de 9,09% do valor do veículo novo com compactador.

## 5.2. ANÁLISE DA VIABILIDADE AMBIENTAL

Da tabela 140, que traça um comparativo da redução da emissão dos quatro poluentes considerados pela frota da COMLURB com a quantidade estimada, para o ano de 2012, de emissão desses elementos pela frota de caminhões do estado do Rio de Janeiro, verifica-se que a redução da emissão de monóxido de carbono (CO) varia de 0,26%, para  $i_{\text{cons}} = 15\%$ , até 0,52%, para  $i_{\text{cons}} = 30\%$ , da emissão total desse poluente para o ano de 2012. Já para os hidrocarbonetos não metânicos (HCNM) essa variação é de 0,23 a 0,46%, e para os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e materiais particulados (MP), as variações são de 0,10 a 0,21% e 0,05 a 0,11%, respectivamente.

Embora se tenha uma expressividade maior alcançada pela redução da emissão dos poluentes CO e HCNM, em relação ao  $\text{NO}_x$  e MP, todos os resultados obtidos indicam que as proporções encontradas representam uma parcela pouco significativa de um total de emissões desses elementos pela frota de caminhões do Rio de Janeiro. Porém, qualquer diminuição na emissão de poluentes atmosféricos, principalmente quando se trata dos quatro elementos considerados, que são muito nocivos ao seres vivos, será sempre uma contribuição positiva ao meio ambiente, melhorando a qualidade do ar da cidade.

Para o veículo com compactador de 19 m<sup>3</sup>, os resultados obtidos, em comparação com a frota de caminhões do estado do Rio de Janeiro, são pouco expressivos, não chegando a 0,01% de redução de qualquer um dos poluentes considerados, para as taxas de redução de consumo de combustível e distâncias médias percorridas tomadas. A maior redução alcançada é para o monóxido de carbono (CO), com  $i_{\text{cons}} = 30\%$  e considerando a

maior distância média percorrida (5.000 km), que vale 0,0075%.

Com a redução da emissão dos quatro poluentes considerados pelo veículo híbrido com compactador de 19 m<sup>3</sup>, obtêm-se novos valores de emissão, que são representados pelos valores percentuais de 3,03, 5,05 e 6,05%, para as taxas  $i_{\text{cons}}$  de 15, 25 e 30%, respectivamente, da quantidade total emitida dos mesmos poluentes pela frota de caminhões da COMLURB. Observa-se, agora, que a redução ganha maior expressividade, tendo em vista a importância deste veículo nas atividades operacionais da companhia.

Por menor que seja a redução de emissão de poluentes atmosféricos, além de gerar um benefício ambiental, contribuindo para a diminuição da poluição urbana, representa um avanço cultural da sociedade, principalmente dos agentes diretamente envolvidos com o transporte urbano, no sentido de reduzir a poluição do ar, com a criação de novas tecnologias alinhadas com a necessidade de se obter uma maior eficiência energética, diminuindo-se a quantidade de poluentes emitidos pelos veículos.

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS, LIMITAÇÕES E SUGESTÕES**

### **6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A necessidade de se desenvolver tecnologias que aumentem a eficiência energética dos veículos é uma realidade mundial. Aliado a este fato, que está intimamente relacionado à redução de custos e à busca por vantagens competitivas, está o apelo pelo crescimento sustentável, com a questão ambiental ganhando uma importância cada vez maior, impulsionada por políticas que objetivam reduzir a emissão de poluentes atmosféricos.

É nesse contexto que se insere a tecnologia híbrida diesel-hidráulica, que vem se desenvolvendo rapidamente nos últimos anos, assumindo um posicionamento estratégico dentro de montadoras de veículos e um papel socioambiental de grande vulto em suas diversas aplicações, seja em carros de passeio, ônibus, veículos de transporte de carga e até caminhões de coleta de resíduos.

No Brasil, a empresa MAN Latin America está desenvolvendo um veículo híbrido diesel-hidráulico que utiliza o sistema de frenagem regenerativa hidrostática (HRB) da empresa Bosch Rexroth, para aplicação na coleta de resíduos em área urbana. O veículo escolhido foi o que utiliza uma unidade compactadora de 19 m<sup>3</sup>, com 23 toneladas de peso bruto.

Este sistema híbrido diesel-hidráulico é do tipo em paralelo e sua escolha se fundamenta na melhor adaptação ao veículo, sem a necessidade de se modificar o seu projeto padrão, além de ser mais simples que o outro modelo existente, do tipo em série. O sistema HRB é bastante robusto e seu custo de aquisição é baixo, considerando-se o retorno financeiro obtido com a redução nos custos de operação, dado o menor consumo de combustível, e de manutenção, com o menor desgaste do sistema de freios.

Nos testes, o sistema híbrido instalado no caminhão proporcionou uma redução no consumo de combustível de 25%. Tomando-se por base o método desenvolvido para a análise financeira, com todas as suas considerações e definições, aplicando-o ao caso da COMLURB para os veículos de coleta de resíduos com compactadores de 10, 15 e 19 m<sup>3</sup>, verifica-se que a instalação do sistema híbrido nesses caminhões é viável.

Em particular, para o veículo de 19 m<sup>3</sup>, no qual a empresa MAN introduziu o sistema HRB e realizou testes experimentais, o retorno financeiro alcançado foi de até 8% do valor do veículo novo com compactador, considerando-se os dados de operação desse caminhão de lixo na COMLURB e a taxa de renovação de 5 anos praticada pela empresa contratada, sendo esta uma exigência contratual. Porém, se o desgaste do veículo diminuir sua durabilidade, sendo necessário substituí-lo em menos de 5 anos, a introdução da tecnologia ainda é viável para as taxas de renovação de 4 e 3 anos, com um retorno financeiro de até 4,54 e 1,01%, respectivamente.

Conforme visto no capítulo 5, a venda de crédito de carbono aumenta o retorno financeiro, sendo, em alguns casos, determinante para a viabilidade financeira da tecnologia, se o valor do crédito de carbono for próximo aos maiores valores já praticados em leilões no país, por volta de R\$ 50,00 a tonelada de carbono.

A análise ambiental demonstrou que, aplicando-se a tecnologia híbrida hidráulica aos veículos da COMLURB, ou somente ao caminhão de lixo com unidade compactadora de 19 m<sup>3</sup>, a redução da emissão de poluentes atmosféricos é pequena, comparando-se com a emissão total da frota de caminhões do estado do Rio de Janeiro ou da própria COMLURB, analisando-se isoladamente o veículo com compactador de 19 m<sup>3</sup>. Porém, a colaboração ao meio ambiente, embora pouco significativa, gera um benefício ambiental e auxilia na disseminação da cultura de proteção do meio ambiente e desenvolvimento sustentável.

Na análise financeira, não foi considerada a possibilidade de se haver incentivos do governo, como a redução de impostos e taxas, além de investimentos em projetos de pesquisa e desenvolvimento de produto. Com a atuação mais ativa do governo, espera-se que o retorno financeiro de se adquirir um veículo híbrido seja ainda maior.

## **6.2. LIMITAÇÕES**

Dentre as limitações observadas neste estudo, estão as incertezas relacionadas à(s): economia brasileira durante os próximos 5 anos, que impactam diretamente nas taxas de inflação e SELIC, alterando-se os resultados obtidos com a aplicação do método de análise financeira; flutuação do valor do crédito de carbono, que dependerá da demanda

e de políticas ambientais internacionais para o estabelecimento de regras que possam alterar o movimento desse mercado; variação do preço do barril de petróleo, bem como da necessidade de importação do óleo diesel, modificando-se o seu preço no mercado nacional; alterações na distância média mensal percorrida pelo caminhão de lixo, provocadas por mudanças nas rotas de coleta, frequência de utilização do veículo, demanda pública de coleta de resíduos, entre outros fatores; e modificações nos valores dos impostos, como o IPI, que impactam no valor de revenda do veículo.

Os testes experimentais com o veículo protótipo da empresa MAN foram realizados em um circuito fechado de testes, seguindo um procedimento de operação previamente definido. A taxa de redução no consumo de combustível obtida poderia ser diferente se o veículo fosse testado nas ruas de uma cidade, podendo haver um acréscimo ou diminuição do valor encontrado. Por esse motivo que na aplicação do método foram consideradas, também, as taxas de 15 e 30% para a redução no consumo, prevendo-se uma possível alteração no valor de 25% encontrado.

### **6.3. SUGESTÕES**

Para que os resultados obtidos com o método desenvolvido neste trabalho retratem mais fielmente a realidade operacional do caminhão de coleta de resíduos da COMLURB, é interessante que o veículo protótipo fabricado pela MAN possa ser testado nas ruas da cidade do Rio de Janeiro, em dias normais de operação de coleta de lixo. Dessa forma, a economia de combustível alcançada indicaria uma taxa de redução no consumo de combustível mais próxima do real.

Para trabalhos futuros, sugere-se o aprimoramento do método, incluindo a influência das variações de velocidade do caminhão durante a coleta de resíduos nas diferentes regiões de uma cidade: centro; bairros residenciais das zonas sul, norte, leste e oeste; periferias; e comunidades. Esta consideração poderá ser feita com base na análise dos tacógrafos dos veículos nessas diferentes áreas de coleta de lixo. Certamente ocorrerão variações na taxa de redução de consumo do caminhão, devido aos seus diferentes ciclos de operação nessas localidades.

Conforme visto, a inclusão da venda de crédito de carbono é expressiva quando o valor da tonelada de carbono é razoavelmente mais alto. Dessa forma, é interessante, também, fazer uma análise do mercado de crédito de carbono, apresentando projeções do valor do crédito para o futuro, os entraves burocráticos encontrados e propostas para expandi-lo no país.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP, 2011, *Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2011*. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=57890>>. Acesso em: 05 jan. 2012.

ANP, 2012, *Consumo aparente de combustíveis no Brasil cresceu 3% na comparação entre 2010 e 2011*. Nota à imprensa da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, de 16/02/2012. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=59318&m=consumo%20de%20gasolina&t1=&t2=consumo%20de%20gasolina&t3=&t4=&ar=0&ps=1&cachebust=1352677936874>>. Acesso em: 15 out. 2012.

ANP, *Sistema de Levantamento de Preços*. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Brasil. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo Mensal Index.asp>>. Acesso em: 10 out. 2012.

BASELEY.S., “Intelligent Hydraulic Drive™ (IHD™)/Bosch Rexroth”. *SCAQMD Hydraulic Hybrid Vehicle Technology Forum and Roundtable Discussion*, Diamond Bar, California, USA, 2007. Disponível em: <<https://www.aqmd.gov/tao/ConferencesWorkshops/HydraulicHybridForum/BaseleySlides.pdf>>. Acesso em: 07 mar. 2012.

BASELEY, S., EHRET, C., GREIF, E., *et al.*, “Hydraulic Hybrid Systems for Commercial Vehicles”. *SAE International*, 2007-01-4150, Rochester Hills, Michigan, USA, 2007.

BOHLMANN.B., “Hybrid Hydraulic System Development for Commercial Vehicles”. *SCAQMD Hydraulic Hybrid Vehicle Technology Forum and Roundtable Discussion*, Diamond Bar, California, USA, 2007. Disponível em: <<http://www.aqmd.gov/tao/ConferencesWorkshops/HydraulicHybridForum/BohlmannSlides.pdf>>. Acesso em: 07 mar. 2012.

BOSCH, “Refuse collection vehicle with hydraulic hybrid drive from Rexroth”. *IFAT*, Munich, Germany, 2008. Disponível em: <[https://www.boschrexroth.com/country\\_units/america/united\\_states/sub\\_websites/bruh\\_m/en/markets\\_applications\\_jg/a\\_downloads/ra98310\\_2010-08.pdf](https://www.boschrexroth.com/country_units/america/united_states/sub_websites/bruh_m/en/markets_applications_jg/a_downloads/ra98310_2010-08.pdf)>. Acesso em: 16 mar. 2012.

BR, 2011, *Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico (FISPQ) - ÓLEO DIESEL S-50*. Nº BR0108, PETROBRAS DISTRIBUIDORA, Brasil. Disponível em: <<http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/7f6b350043a7b24693df9fecc2d0136c/fispq-oleodiesel-S-50.pdf?MOD=AJPERES>>. Acesso em: 06 ago. 2012.

CHAVES, R. O., MARQUES, G. G., “Hybrid Hydraulic Truck – An Opportunity for Emerging Markets. 21<sup>st</sup> Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology 2012, Aachen, Germany, October 2012.

CNT, 2012, *A fase P7 do Proconve e o impacto no setor de transporte*. Confederação Nacional do Transporte, Brasília, DF, Brasil. Disponível em: <[www.cnt.org.br/riomais20/resources/cartilhas/proconve.pdf](http://www.cnt.org.br/riomais20/resources/cartilhas/proconve.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2012.

COMLURB, 2012, *Planilhas de dados dos veículos da frota da COMLURB*. Companhia Municipal de Limpeza Urbana, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

DE NEGRI, V. J., 2001, *Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos para Automação e Controle*. Laboratório de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos, UFSC, Florianópolis, SC, Brasil. Disponível em: <<http://www.laship.ufsc.br/PDF/ApostilaPDF/SistHPCContAutP1.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2012.

FIPE, *Tabelas de Preços Médios*. FIPE - Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas, Brasil. Disponível em: <<http://www.fipe.org.br/web/index.asp>>. Acesso em: 19 out. 2012.

GRAY, C. L., “Hydraulic Hybrids”. *EPA Hybrid Truck Initiative*. HARC, The Woodlands, Texas, USA, October 2006. Disponível em: <<http://files.harc.edu/Projects/Transportation/HydraulicHybridsGray.pdf>>. Acesso em: 07 mar. 2012.

INEA, *Proconve/Promot*. Instituto Estadual do Ambiente, Brasil. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/fma/proconve-promot.asp>>. Acesso em: 05 ago. 2012.

IPEA, 2012, *O que é? – Mercado Spot*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2099:catid=28&Itemid=23](http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=2099:catid=28&Itemid=23)>. Acesso em: 15 out. 2012.

LINDZUS, E., 2011, *HRB – Hydrostatic Regenerative Braking System, The Hydraulic Hybrid Drive from Bosch Rexroth, Germany*.

LIPINSKI, J., 2012, *Projetos de Redução de Emissões em Aterros Sanitários se Multiplicam*, Instituto CarbonoBrasil, Brasil.

MAN, 2011, *Caminhão Híbrido Diesel/Hidráulico: Sistema de Frenagem Regenerativa Hidrostática HRB*. RP 98310/08.10, MAN LATIN AMERICA, Brasil.

MAN, 2012, *HRB Refuse Truck - Fuel Consumption Test*. MAN LATIN AMERICA, Resende, RJ, Brasil.

MATTOS, T. M., 2011, *Análise de Projetos de Redução de Emissão de Gases de Efeito Estufa no Setor de Transportes – Estudo de Caso dos BRTs no Rio de Janeiro*. Projeto de Graduação, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001747.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2012.

MICHAELIS, Moderno Dicionário da Língua Portuguesa. Disponível em: <<http://michaelis.uol.com.br/moderno/portugues/index.php>>. Acesso em: 14 mai. 2012.

MMA, 2011, *1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários*. Ministério do Meio Ambiente, Brasil.

PLYMELL, K., SWING, R., PACCINI, R., *et al.*, 2008, *Hydraulic Hybrid Vehicles: Deducing Heavy Diesel Vehicle Emissions at an Affordable Price*, ECE401 First Semester Report, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA. Disponível em: <[http://www.engr.colostate.edu/ece-sr-design/AY08/hybrid/files/Documents/ECE401\\_Fall2008\\_HHV.pdf](http://www.engr.colostate.edu/ece-sr-design/AY08/hybrid/files/Documents/ECE401_Fall2008_HHV.pdf)>. Acesso em: 15 mar. 2012.

RODRIGUES, R. A., “Análise de Impacto Regulatório Aplicada no Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel”. *II Seminário Latino-Americano e Caribenho sobre Experiências Exitosas em Regulação*, Brasília, DF, Brasil, 2012.

RODRIGUES, R. S, 2010, *Análise da Tecnologia Híbrida Hidráulica para Frota de Caminhões no Município de São Paulo*. Dissertação de M.Sc., USP, São Paulo, SP, Brasil. Disponível em: <[http://www.automotiva-poliusp.org.br/mest/banc/pdf/Rodrigo\\_Rodrigues.pdf](http://www.automotiva-poliusp.org.br/mest/banc/pdf/Rodrigo_Rodrigues.pdf)>. Acesso em: 28 fev. 2012.

ROSA, L. P., D’AGOSTO, M. A., SOUZA, C. D. R., *et al.*, 2011, *Inventário de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores do Estado do Rio de Janeiro*. Laboratório de Transporte de Carga, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

SILVA, E. N. A. 2006, *Centralização da Distribuição e Custos de Transporte: Estudo de Caso da AMBEV*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

TOMBINI, A. A., MENDES, A. L., LOPES, A., *et al.*, 2012, *Ata do COPOM da 170ª Reunião*. Banco Central do Brasil, Brasília, DF, Brasil. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/?COPOM170>>. Acesso em: 20 out. 2012.

TOMBINI, A. A., 2011, *Resolução número 003991*. Banco Central do Brasil, Brasília, DF, Brasil. Disponível em: <<https://www3.bcb.gov.br/normativo/detalharNormativo.do?method=detalharNormativo&N=111045364>>. Acesso em: 20 out. 2012.

TOMBINI, A. A., 2012, *Resolução número 4.095*. Banco Central do Brasil, Brasília, DF, Brasil. Disponível em: <<https://www3.bcb.gov.br/pre/normativos/busca/normativo.asp?tipo=Res&ano=2012&numero=4095>>. Acesso em: 20 out. 2012.

WOLFFENBÜTTEL, A., 2012, *O que é? - Petróleo Brent e WTI*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2083&catid=41&Itemid=49](http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=2083&catid=41&Itemid=49)>. Acesso em: 15 out. 2012.

WU.B, Lin C. C., Filipi, L., *et al.*, "Optimization of Power Management Strategies for a Hydraulic Hybrid Medium Truck". *Proceedings of the 2002 Advanced Vehicle Control Conference*, Hiroshima, Japan, September 2002.

## APÊNDICE 1

Tabelas de redução no custo de operação do veículo híbrido com compactador de 15 m<sup>3</sup>, variando-se a distância média mensal percorrida e a taxa de redução no consumo de combustível, considerando-se a taxa de aumento anual do preço do óleo diesel igual a 2,7%. Essas tabelas são válidas para todos os cenários considerados.

**Tabela 164: Redução no custo de operação anual do veículo híbrido para  $i_{\text{cons}} = 15\%$  e  $i_D = 2,7\%$**

REDUÇÃO NO CUSTO DE OPERAÇÃO						
$d_{\text{mensal}}$ (km)	REDUÇÃO	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5
0	$\Delta CO_n$	0	0	0	0	0
	$\Delta CO_{VP_n}$	0	0	0	0	0
500	$\Delta CO_n$	851,66	874,66	898,27	922,53	947,43
	$\Delta CO_{VP_n}$	794,09	760,40	728,14	697,25	667,67
1.000	$\Delta CO_n$	1.703,32	1.749,31	1.796,55	1.845,05	1.894,87
	$\Delta CO_{VP_n}$	1.588,18	1.520,80	1.456,29	1.394,50	1.335,34
1.500	$\Delta CO_n$	2.554,99	2.623,97	2.694,82	2.767,58	2.842,30
	$\Delta CO_{VP_n}$	2.382,27	2.281,21	2.184,43	2.091,76	2.003,01
2.000	$\Delta CO_n$	3.406,65	3.498,63	3.593,09	3.690,11	3.789,74
	$\Delta CO_{VP_n}$	3.176,36	3.041,61	2.912,57	2.789,01	2.670,69
2.500	$\Delta CO_n$	4.258,31	4.373,29	4.491,37	4.612,63	4.737,17
	$\Delta CO_{VP_n}$	3.970,45	3.802,01	3.640,71	3.486,26	3.338,36
3.000	$\Delta CO_n$	5.109,97	5.247,94	5.389,64	5.535,16	5.684,61
	$\Delta CO_{VP_n}$	4.764,54	4.562,41	4.368,86	4.183,51	4.006,03
3.500	$\Delta CO_n$	5.961,64	6.122,60	6.287,91	6.457,68	6.632,04
	$\Delta CO_{VP_n}$	5.558,64	5.322,81	5.097,00	4.880,76	4.673,70
4.000	$\Delta CO_n$	6.813,30	6.997,26	7.186,18	7.380,21	7.579,48
	$\Delta CO_{VP_n}$	6.352,73	6.083,22	5.825,14	5.578,01	5.341,37
4.500	$\Delta CO_n$	7.664,96	7.871,92	8.084,46	8.302,74	8.526,91
	$\Delta CO_{VP_n}$	7.146,82	6.843,62	6.553,28	6.275,27	6.009,04
5.000	$\Delta CO_n$	8.516,62	8.746,57	8.982,73	9.225,26	9.474,35
	$\Delta CO_{VP_n}$	7.940,91	7.604,02	7.281,43	6.972,52	6.676,71

Fonte: Elaboração do autor

Tabela 165: Redução no custo de operação anual do veículo híbrido para  $i_{\text{cons}} = 25\%$  e  $i_D = 2,7\%$

REDUÇÃO NO CUSTO DE OPERAÇÃO						
$d_{\text{mensal}}$ (km)	REDUÇÃO	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5
0	$\Delta CO_n$	0	0	0	0	0
	$\Delta CO_{VP_n}$	0	0	0	0	0
500	$\Delta CO_n$	1.305,88	1.341,14	1.377,35	1.414,54	1.452,73
	$\Delta CO_{VP_n}$	1.217,61	1.165,95	1.116,49	1.069,12	1.023,76
1.000	$\Delta CO_n$	2.611,76	2.682,28	2.754,70	2.829,08	2.905,47
	$\Delta CO_{VP_n}$	2.435,21	2.331,90	2.232,97	2.138,24	2.047,53
1.500	$\Delta CO_n$	3.917,65	4.023,42	4.132,06	4.243,62	4.358,20
	$\Delta CO_{VP_n}$	3.652,82	3.497,85	3.349,46	3.207,36	3.071,29
2.000	$\Delta CO_n$	5.223,53	5.364,56	5.509,41	5.658,16	5.810,93
	$\Delta CO_{VP_n}$	4.870,42	4.663,80	4.465,94	4.276,48	4.095,05
2.500	$\Delta CO_n$	6.529,41	6.705,71	6.886,76	7.072,70	7.263,67
	$\Delta CO_{VP_n}$	6.088,03	5.829,75	5.582,43	5.345,60	5.118,81
3.000	$\Delta CO_n$	7.835,29	8.046,85	8.264,11	8.487,24	8.716,40
	$\Delta CO_{VP_n}$	7.305,64	6.995,70	6.698,91	6.414,72	6.142,58
3.500	$\Delta CO_n$	9.141,18	9.387,99	9.641,46	9.901,78	10.169,13
	$\Delta CO_{VP_n}$	8.523,24	8.161,65	7.815,40	7.483,84	7.166,34
4.000	$\Delta CO_n$	10.447,06	10.729,13	11.018,82	11.316,32	11.621,86
	$\Delta CO_{VP_n}$	9.740,85	9.327,60	8.931,88	8.552,95	8.190,10
4.500	$\Delta CO_n$	11.752,94	12.070,27	12.396,17	12.730,86	13.074,60
	$\Delta CO_{VP_n}$	10.958,45	10.493,55	10.048,37	9.622,07	9.213,86
5.000	$\Delta CO_n$	13.058,82	13.411,41	13.773,52	14.145,40	14.527,33
	$\Delta CO_{VP_n}$	12.176,06	11.659,50	11.164,85	10.691,19	10.237,63

Fonte: Elaboração do autor

Tabela 166: Redução no custo de operação anual do veículo híbrido para  $i_{\text{cons}} = 30\%$  e  $i_D = 2,7\%$

REDUÇÃO NO CUSTO DE OPERAÇÃO						
$d_{\text{mensal}}$ (km)	REDUÇÃO	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5
0	$\Delta CO_n$	0	0	0	0	0
	$\Delta CO_{VP_n}$	0	0	0	0	0
500	$\Delta CO_n$	1.506,79	1.547,47	1.589,25	1.632,16	1.676,23
	$\Delta CO_{VP_n}$	1.404,93	1.345,33	1.288,25	1.233,60	1.181,26
1.000	$\Delta CO_n$	3.013,57	3.094,94	3.178,50	3.264,32	3.352,46
	$\Delta CO_{VP_n}$	2.809,86	2.690,65	2.576,50	2.467,20	2.362,53
1.500	$\Delta CO_n$	4.520,36	4.642,41	4.767,76	4.896,49	5.028,69
	$\Delta CO_{VP_n}$	4.214,79	4.035,98	3.864,76	3.700,80	3.543,79
2.000	$\Delta CO_n$	6.027,15	6.189,88	6.357,01	6.528,65	6.704,92
	$\Delta CO_{VP_n}$	5.619,72	5.381,31	5.153,01	4.934,40	4.725,06
2.500	$\Delta CO_n$	7.533,94	7.737,35	7.946,26	8.160,81	8.381,15
	$\Delta CO_{VP_n}$	7.024,65	6.726,63	6.441,26	6.168,00	5.906,32
3.000	$\Delta CO_n$	9.040,72	9.284,82	9.535,51	9.792,97	10.057,38
	$\Delta CO_{VP_n}$	8.429,58	8.071,96	7.729,51	7.401,60	7.087,59
3.500	$\Delta CO_n$	10.547,51	10.832,29	11.124,77	11.425,13	11.733,61
	$\Delta CO_{VP_n}$	9.834,51	9.417,29	9.017,77	8.635,19	8.268,85
4.000	$\Delta CO_n$	12.054,30	12.379,76	12.714,02	13.057,30	13.409,84
	$\Delta CO_{VP_n}$	11.239,44	10.762,61	10.306,02	9.868,79	9.450,12
4.500	$\Delta CO_n$	13.561,09	13.927,24	14.303,27	14.689,46	15.086,07
	$\Delta CO_{VP_n}$	12.644,37	12.107,94	11.594,27	11.102,39	10.631,38
5.000	$\Delta CO_n$	15.067,87	15.474,71	15.892,52	16.321,62	16.762,30
	$\Delta CO_{VP_n}$	14.049,30	13.453,27	12.882,52	12.335,99	11.812,65

Fonte: Elaboração do autor

## APÊNDICE II

Tabelas de redução no custo de operação do veículo híbrido com compactador de 15 m<sup>3</sup>, variando-se a distância média mensal percorrida e a taxa de redução no consumo de combustível, considerando-se a taxa de aumento anual do preço do óleo diesel igual a 5,6%. Essas tabelas são válidas para todos os cenários considerados.

**Tabela 167: Redução no custo de operação anual do veículo híbrido para  $i_{\text{cons}} = 15\%$  e  $i_D = 5,6\%$**

REDUÇÃO NO CUSTO DE OPERAÇÃO						
$d_{\text{mensal}}$ (km)	REDUÇÃO	ANO1	ANO2	ANO3	ANO4	ANO5
0	$\Delta CO_n$	0	0	0	0	0
	$\Delta CO_{VP_n}$	0	0	0	0	0
500	$\Delta CO_n$	851,66	899,36	949,72	1.002,90	1.059,07
	$\Delta CO_{VP_n}$	794,09	781,87	769,85	758,00	746,34
1.000	$\Delta CO_n$	1.703,32	1.798,71	1.899,44	2.005,81	2.118,13
	$\Delta CO_{VP_n}$	1.588,18	1.563,75	1.539,69	1.516,00	1.492,68
1.500	$\Delta CO_n$	2.554,99	2.698,07	2.849,16	3.008,71	3.177,20
	$\Delta CO_{VP_n}$	2.382,27	2.345,62	2.309,54	2.274,00	2.239,02
2.000	$\Delta CO_n$	3.406,65	3.597,42	3.798,88	4.011,61	4.236,27
	$\Delta CO_{VP_n}$	3.176,36	3.127,50	3.079,38	3.032,01	2.985,36
2.500	$\Delta CO_n$	4.258,31	4.496,78	4.748,60	5.014,52	5.295,33
	$\Delta CO_{VP_n}$	3.970,45	3.909,37	3.849,23	3.790,01	3.731,70
3.000	$\Delta CO_n$	5.109,97	5.396,13	5.698,32	6.017,42	6.354,40
	$\Delta CO_{VP_n}$	4.764,54	4.691,24	4.619,07	4.548,01	4.478,04
3.500	$\Delta CO_n$	5.961,64	6.295,49	6.648,04	7.020,33	7.413,46
	$\Delta CO_{VP_n}$	5.558,64	5.473,12	5.388,92	5.306,01	5.224,38
4.000	$\Delta CO_n$	6.813,30	7.194,84	7.597,76	8.023,23	8.472,53
	$\Delta CO_{VP_n}$	6.352,73	6.254,99	6.158,76	6.064,01	5.970,72
4.500	$\Delta CO_n$	7.664,96	8.094,20	8.547,47	9.026,13	9.531,60
	$\Delta CO_{VP_n}$	7.146,82	7.036,87	6.928,61	6.822,01	6.717,06
5.000	$\Delta CO_n$	8.516,62	8.993,55	9.497,19	10.029,04	10.590,66
	$\Delta CO_{VP_n}$	7.940,91	7.818,74	7.698,45	7.580,01	7.463,40

Fonte: Elaboração do autor

Tabela 168: Redução no custo de operação anual do veículo híbrido para  $i_{\text{cons}} = 25\%$  e  $i_D = 5,6\%$

REDUÇÃO NO CUSTO DE OPERAÇÃO						
$d_{\text{mensal}}$ (km)	REDUÇÃO	ANO1	ANO2	ANO3	ANO4	ANOS5
0	$\Delta CO_n$	0	0	0	0	0
	$\Delta CO_{VP_n}$	0	0	0	0	0
500	$\Delta CO_n$	1.305,88	1.379,01	1.456,24	1.537,79	1.623,90
	$\Delta CO_{VP_n}$	1.217,61	1.198,87	1.180,43	1.162,27	1.144,39
1.000	$\Delta CO_n$	2.611,76	2.758,02	2.912,47	3.075,57	3.247,80
	$\Delta CO_{VP_n}$	2.435,21	2.397,75	2.360,86	2.324,54	2.288,78
1.500	$\Delta CO_n$	3.917,65	4.137,04	4.368,71	4.613,36	4.871,70
	$\Delta CO_{VP_n}$	3.652,82	3.596,62	3.541,29	3.486,81	3.433,16
2.000	$\Delta CO_n$	5.223,53	5.516,05	5.824,95	6.151,14	6.495,61
	$\Delta CO_{VP_n}$	4.870,42	4.795,49	4.721,72	4.649,08	4.577,55
2.500	$\Delta CO_n$	6.529,41	6.895,06	7.281,18	7.688,93	8.119,51
	$\Delta CO_{VP_n}$	6.088,03	5.994,37	5.902,15	5.811,34	5.721,94
3.000	$\Delta CO_n$	7.835,29	8.274,07	8.737,42	9.226,71	9.743,41
	$\Delta CO_{VP_n}$	7.305,64	7.193,24	7.082,58	6.973,61	6.866,33
3.500	$\Delta CO_n$	9.141,18	9.653,08	10.193,65	10.764,50	11.367,31
	$\Delta CO_{VP_n}$	8.523,24	8.392,11	8.263,01	8.135,88	8.010,71
4.000	$\Delta CO_n$	10.447,06	11.032,09	11.649,89	12.302,29	12.991,21
	$\Delta CO_{VP_n}$	9.740,85	9.590,99	9.443,43	9.298,15	9.155,10
4.500	$\Delta CO_n$	11.752,94	12.411,11	13.106,13	13.840,07	14.615,11
	$\Delta CO_{VP_n}$	10.958,45	10.789,86	10.623,86	10.460,42	10.299,49
5.000	$\Delta CO_n$	13.058,82	13.790,12	14.562,36	15.377,86	16.239,02
	$\Delta CO_{VP_n}$	12.176,06	11.988,74	11.804,29	11.622,69	11.443,88

Fonte: Elaboração do autor

Tabela 169: Redução no custo de operação anual do veículo híbrido para  $i_{\text{cons}} = 30$  e  $i_D = 5,6\%$

REDUÇÃO NO CUSTO DE OPERAÇÃO						
$d_{\text{mensal}}$ (km)	REDUÇÃO	ANO1	ANO2	ANO3	ANO4	ANOS5
0	$\Delta CO_n$	0	0	0	0	0
	$\Delta CO_{VP_n}$	0	0	0	0	0
500	$\Delta CO_n$	1.506,79	1.591,17	1.680,27	1.774,37	1.873,73
	$\Delta CO_{VP_n}$	1.404,93	1.383,32	1.362,03	1.341,08	1.320,45
1.000	$\Delta CO_n$	3.013,57	3.182,33	3.360,55	3.548,74	3.747,47
	$\Delta CO_{VP_n}$	2.809,86	2.766,63	2.724,07	2.682,16	2.640,89
1.500	$\Delta CO_n$	4.520,36	4.773,50	5.040,82	5.323,10	5.621,20
	$\Delta CO_{VP_n}$	4.214,79	4.149,95	4.086,10	4.023,24	3.961,34
2.000	$\Delta CO_n$	6.027,15	6.364,67	6.721,09	7.097,47	7.494,93
	$\Delta CO_{VP_n}$	5.619,72	5.533,26	5.448,14	5.364,32	5.281,79
2.500	$\Delta CO_n$	7.533,94	7.955,84	8.401,36	8.871,84	9.368,66
	$\Delta CO_{VP_n}$	7.024,65	6.916,58	6.810,17	6.705,40	6.602,24
3.000	$\Delta CO_n$	9.040,72	9.547,00	10.081,64	10.646,21	11.242,40
	$\Delta CO_{VP_n}$	8.429,58	8.299,89	8.172,20	8.046,48	7.922,68
3.500	$\Delta CO_n$	10.547,51	11.138,17	11.761,91	12.420,58	13.116,13
	$\Delta CO_{VP_n}$	9.834,51	9.683,21	9.534,24	9.387,56	9.243,13
4.000	$\Delta CO_n$	12.054,30	12.729,34	13.442,18	14.194,94	14.989,86
	$\Delta CO_{VP_n}$	11.239,44	11.066,52	10.896,27	10.728,64	10.563,58
4.500	$\Delta CO_n$	13.561,09	14.320,51	15.122,46	15.969,31	16.863,59
	$\Delta CO_{VP_n}$	12.644,37	12.449,84	12.258,30	12.069,72	11.884,03
5.000	$\Delta CO_n$	15.067,87	15.911,67	16.802,73	17.743,68	18.737,33
	$\Delta CO_{VP_n}$	14.049,30	13.833,16	13.620,34	13.410,79	13.204,47

Fonte: Elaboração do autor

### APÊNDICE III

Tabelas contendo o lucro total, a valor presente, da venda de crédito de carbono, variando-se o valor do crédito, sendo comuns aos cenários A.1 e A.2 do veículo com compactador de 15 m<sup>3</sup>.

**Tabela 170: Lucro total da venda de crédito de carbono ( $Z_c = R\$ 8,46$ )**

<b>LUCRO TOTAL, A VALOR PRESENTE, DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO (<math>Z_c = R\\$ 8,46</math>)</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$LT_{VP_{C15\%}}$	$LT_{VP_{C25\%}}$	$LT_{VP_{C30\%}}$
0	0	0	0
500	42,37	64,97	74,96
1.000	84,74	129,93	149,92
1.500	127,11	194,90	224,88
2.000	169,47	259,86	299,84
2.500	211,84	324,83	374,80
3.000	254,21	389,79	449,76
3.500	296,58	454,76	524,72
4.000	338,95	519,72	599,68
4.500	381,32	584,69	674,64
5.000	423,69	649,65	749,60

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 171: Lucro total da venda de crédito de carbono ( $Z_c = R\$ 51,90$ )**

<b>LUCRO TOTAL, A VALOR PRESENTE, DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO (<math>Z_c = R\\$ 51,90</math>)</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$LT_{VP_{C15\%}}$	$LT_{VP_{C25\%}}$	$LT_{VP_{C30\%}}$
0	0	0	0
500	259,92	398,54	459,86
1.000	519,84	797,09	919,72
1.500	779,76	1.195,63	1.379,58
2.000	1.039,68	1.594,18	1.839,44
2.500	1.299,60	1.992,72	2.299,30
3.000	1.559,52	2.391,27	2.759,16
3.500	1.819,44	2.789,81	3.219,01
4.000	2.079,36	3.188,36	3.678,87
4.500	2.339,28	3.586,90	4.138,73
5.000	2.599,20	3.985,45	4.598,59

Fonte: Elaboração do autor

## APÊNDICE IV

Tabelas de redução total no custo de operação e retorno financeiro (com e sem a venda de crédito de carbono), referentes ao cenário A.1, para o veículo com compactador de 15 m<sup>3</sup>.

**Tabela 172: Redução total no custo de operação para o cenário A.1**

<b>REDUÇÃO TOTAL NO CUSTO DE OPERAÇÃO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$\Delta CO_{TVP_{15\%}}$	$\Delta CO_{TVP_{25\%}}$	$\Delta CO_{TVP_{30\%}}$
0	0	0	0
500	3.647,56	5.592,92	6.453,37
1.000	7.295,12	11.185,85	12.906,75
1.500	10.942,68	16.778,77	19.360,12
2.000	14.590,23	22.371,69	25.813,49
2.500	18.237,79	27.964,62	32.266,87
3.000	21.885,35	33.557,54	38.720,24
3.500	25.532,91	39.150,46	45.173,61
4.000	29.180,47	44.743,39	51.626,98
4.500	32.828,03	50.336,31	58.080,36
5.000	36.475,59	55.929,23	64.533,73

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 173: Retorno financeiro para o cenário A.1**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-31.456,82	-31.456,82	-31.456,82
500	-27.809,26	-25.863,89	-25.003,44
1.000	-24.161,70	-20.270,97	-18.550,07
1.500	-20.514,14	-14.678,05	-12.096,70
2.000	-16.866,58	-9.085,12	-5.643,32
2.500	-13.219,02	-3.492,20	810,05
3.000	-9.571,46	2.100,72	7.263,42
3.500	-5.923,91	7.693,65	13.716,79
4.000	-2.276,35	13.286,57	20.170,17
4.500	1.371,21	18.879,49	26.623,54
5.000	8.153,77	30.201,24	39.953,00

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 174: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 8,46</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-31.456,82	-31.456,82	-31.456,82
500	-27.766,89	-25.798,93	-24.928,48
1.000	-24.076,96	-20.141,04	-18.400,15
1.500	-20.387,03	-14.483,15	-11.871,82
2.000	-16.697,11	-8.825,26	-5.343,49
2.500	-13.007,18	-3.167,37	1.184,85
3.000	-9.317,25	2.490,51	7.713,18
3.500	-5.627,33	8.148,40	14.241,51
4.000	-1.937,40	13.806,29	20.769,85
4.500	1.752,53	19.464,18	27.298,18
5.000	5.442,46	25.122,07	33.826,51

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 175: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 51,90</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-31.456,82	-31.456,82	-31.456,82
500	-27.549,34	-25.465,35	-24.543,58
1.000	-23.641,86	-19.473,88	-17.630,35
1.500	-19.734,38	-13.482,41	-10.717,12
2.000	-15.826,90	-7.490,94	-3.803,89
2.500	-11.919,42	-1.499,48	3.109,34
3.000	-8.011,94	4.491,99	10.022,58
3.500	-4.104,46	10.483,46	16.935,81
4.000	-196,98	16.474,93	23.849,04
4.500	3.710,50	22.466,40	30.762,27
5.000	7.617,97	28.457,86	37.675,51

Fonte: Elaboração do autor

## APÊNDICE V

Tabelas de redução total no custo de operação e retorno financeiro (com e sem a venda de crédito de carbono), referentes ao cenário A.2, para o veículo com compactador de 15 m<sup>3</sup>.

**Tabela 176: Redução total no custo de operação para o cenário A.2**

<b>REDUÇÃO TOTAL NO CUSTO DE OPERAÇÃO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$\Delta\text{CO}_{\text{TVP}_{15\%}}$	$\Delta\text{CO}_{\text{TVP}_{25\%}}$	$\Delta\text{CO}_{\text{TVP}_{30\%}}$
0	0	0	0
500	3.850,15	5.903,57	6.811,81
1.000	7.700,30	11.807,13	13.623,61
1.500	11.550,45	17.710,70	20.435,42
2.000	15.400,61	23.614,26	27.247,23
2.500	19.250,76	29.517,83	34.059,03
3.000	23.100,91	35.421,39	40.870,84
3.500	26.951,06	41.324,96	47.682,64
4.000	30.801,21	47.228,52	54.494,45
4.500	34.651,36	53.132,09	61.306,26
5.000	38.501,51	59.035,65	68.118,06

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 177: Retorno financeiro para o cenário A.2**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{\text{PB}_{15\%}}$	$R_{\text{PB}_{25\%}}$	$R_{\text{PB}_{30\%}}$
0	-31.456,82	-31.456,82	-31.456,82
500	-27.606,67	-25.553,25	-24.645,01
1.000	-23.756,51	-19.649,69	-17.833,20
1.500	-19.906,36	-13.746,12	-11.021,40
2.000	-16.056,21	-7.842,55	-4.209,59
2.500	-12.206,06	-1.938,99	2.602,21
3.000	-8.355,91	3.964,58	9.414,02
3.500	-4.505,76	9.868,14	16.225,83
4.000	-655,61	15.771,71	23.037,63
4.500	3.194,55	21.675,27	29.849,44
5.000	7.044,70	27.578,84	36.661,25

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 178: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 8,46</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-31.456,82	-31.456,82	-31.456,82
500	-27.564,30	-25.488,29	-24.570,05
1.000	-23.671,78	-19.519,76	-17.683,28
1.500	-19.779,26	-13.551,22	-10.796,52
2.000	-15.886,74	-7.582,69	-3.909,75
2.500	-11.994,22	-1.614,16	2.977,01
3.000	-8.101,70	4.354,37	9.863,78
3.500	-4.209,18	10.322,90	16.750,55
4.000	-316,66	16.291,43	23.637,31
4.500	3.575,86	22.259,96	30.524,08
5.000	7.468,38	28.228,49	37.410,84

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 179: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 51,90</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-31.456,82	-31.456,82	-31.456,82
500	-27.346,74	-25.154,71	-24.185,15
1.000	-23.236,67	-18.852,60	-16.913,49
1.500	-19.126,60	-12.550,49	-9.641,82
2.000	-15.016,53	-6.248,38	-2.370,15
2.500	-10.906,46	53,73	4.901,51
3.000	-6.796,39	6.355,84	12.173,18
3.500	-2.686,31	12.657,95	19.444,84
4.000	1.423,76	18.960,06	26.716,51
4.500	5.533,83	25.262,17	33.988,17
5.000	9.643,90	31.564,28	41.259,84

Fonte: Elaboração do autor

## APÊNDICE VI

Tabelas contendo o lucro total, a valor presente, da venda de crédito de carbono, variando-se o valor do crédito, sendo comuns aos cenários B.1 e B.2 do veículo com compactador de 15 m<sup>3</sup>.

**Tabela 180: Lucro total da venda de crédito de carbono ( $Z_c = R\$ 8,46$ )**

<b>LUCRO TOTAL, A VALOR PRESENTE, DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO (<math>Z_c = R\\$ 8,46</math>)</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$LT_{VP_{C15\%}}$	$LT_{VP_{C25\%}}$	$LT_{VP_{C30\%}}$
0	0	0	0
500	35,04	53,72	61,99
1.000	70,08	107,45	123,98
1.500	105,11	161,17	185,97
2.000	140,15	214,90	247,96
2.500	175,19	268,62	309,95
3.000	210,23	322,35	371,94
3.500	245,26	376,07	433,93
4.000	280,30	429,80	495,92
4.500	315,34	483,52	557,91
5.000	350,38	537,24	619,90

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 181: Lucro total da venda de crédito de carbono ( $Z_c = R\$ 51,90$ )**

<b>LUCRO TOTAL, A VALOR PRESENTE, DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO (<math>Z_c = R\\$ 51,90</math>)</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$LT_{VP_{C15\%}}$	$LT_{VP_{C25\%}}$	$LT_{VP_{C30\%}}$
0	0	0	0
500	214,95	329,59	380,29
1.000	429,90	659,17	760,58
1.500	644,84	988,76	1.140,88
2.000	859,79	1.318,35	1.521,17
2.500	1.074,74	1.647,93	1.901,46
3.000	1.289,69	1.977,52	2.281,75
3.500	1.504,63	2.307,10	2.662,04
4.000	1.719,58	2.636,69	3.042,33
4.500	1.934,53	2.966,28	3.422,63
5.000	2.149,48	3.295,86	3.802,92

Fonte: Elaboração do autor

## APÊNDICE VII

Tabelas de redução total no custo de operação e retorno financeiro (com e sem a venda de crédito de carbono), referentes ao cenário B.1, para o veículo com compactador de 15 m<sup>3</sup>.

**Tabela 182: Redução total no custo de operação para o cenário B.1**

<b>REDUÇÃO TOTAL NO CUSTO DE OPERAÇÃO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$\Delta CO_{TVP_{15\%}}$	$\Delta CO_{TVP_{25\%}}$	$\Delta CO_{TVP_{30\%}}$
0	0	0	0
500	2.979,89	4.569,16	5.272,11
1.000	5.959,77	9.138,32	10.544,22
1.500	8.939,66	13.707,48	15.816,32
2.000	11.919,55	18.276,64	21.088,43
2.500	14.899,44	22.845,80	26.360,54
3.000	17.879,32	27.414,96	31.632,65
3.500	20.859,21	31.984,12	36.904,76
4.000	23.839,10	36.553,28	42.176,87
4.500	26.818,99	41.122,44	47.448,97
5.000	29.798,87	45.691,61	52.721,08

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 183: Retorno financeiro para o cenário B.1**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-32.129,12	-32.129,12	-32.129,12
500	-29.114,20	-27.506,24	-26.795,03
1.000	-26.099,27	-22.883,35	-21.460,93
1.500	-23.084,35	-18.260,47	-16.126,83
2.000	-20.069,42	-13.637,58	-10.792,73
2.500	-17.054,50	-9.014,70	-5.458,63
3.000	-14.039,57	-4.391,81	-124,54
3.500	-11.024,65	231,07	5.209,56
4.000	-8.009,72	4.853,96	10.543,66
4.500	-4.994,80	9.476,84	15.877,76
5.000	-1.979,87	14.099,73	21.211,86

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 184: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 8,46</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-32.129,12	-32.129,12	-32.129,12
500	-29.114,20	-27.506,24	-26.795,03
1.000	-26.099,27	-22.883,35	-21.460,93
1.500	-23.084,35	-18.260,47	-16.126,83
2.000	-20.069,42	-13.637,58	-10.792,73
2.500	-17.054,50	-9.014,70	-5.458,63
3.000	-14.039,57	-4.391,81	-124,54
3.500	-11.024,65	231,07	5.209,56
4.000	-8.009,72	4.853,96	10.543,66
4.500	-4.994,80	9.476,84	15.877,76
5.000	-1.979,87	14.099,73	21.211,86

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 185: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 51,90</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-32.129,12	-32.129,12	-32.129,12
500	-28.934,29	-27.230,38	-26.476,72
1.000	-25.739,46	-22.331,63	-20.824,32
1.500	-22.544,62	-17.432,88	-15.171,92
2.000	-19.349,79	-12.534,14	-9.519,52
2.500	-16.154,95	-7.635,39	-3.867,12
3.000	-12.960,12	-2.736,64	1.785,28
3.500	-9.765,28	2.162,10	7.437,68
4.000	-6.570,45	7.060,85	13.090,08
4.500	-3.375,61	11.959,60	18.742,48
5.000	-180,78	16.858,34	24.394,88

Fonte: Elaboração do autor

## APÊNDICE VIII

Tabelas de redução total no custo de operação e retorno financeiro (com e sem a venda de crédito de carbono), referentes ao cenário B.2, para o veículo com compactador de 15 m<sup>3</sup>.

**Tabela 186: Redução total no custo de operação para o cenário B.2**

<b>REDUÇÃO TOTAL NO CUSTO DE OPERAÇÃO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$\Delta\text{CO}_{\text{TVP}_{15\%}}$	$\Delta\text{CO}_{\text{TVP}_{25\%}}$	$\Delta\text{CO}_{\text{TVP}_{30\%}}$
0	0	0	0
500	3.103,81	4.759,18	5.491,36
1.000	6.207,62	9.518,36	10.982,72
1.500	9.311,43	14.277,53	16.474,08
2.000	12.415,25	19.036,71	21.965,44
2.500	15.519,06	23.795,89	27.456,79
3.000	18.622,87	28.555,07	32.948,15
3.500	21.726,68	33.314,24	38.439,51
4.000	24.830,49	38.073,42	43.930,87
4.500	27.934,30	42.832,60	49.422,23
5.000	31.038,11	47.591,78	54.913,59

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 187: Retorno financeiro para o cenário B.2**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{\text{PB}_{15\%}}$	$R_{\text{PB}_{25\%}}$	$R_{\text{PB}_{30\%}}$
0	-32.129,12	-32.129,12	-32.129,12
500	-28.990,28	-27.316,22	-26.575,78
1.000	-25.851,43	-22.503,32	-21.022,43
1.500	-22.712,58	-17.690,42	-15.469,08
2.000	-19.573,73	-12.877,52	-9.915,73
2.500	-16.434,88	-8.064,61	-4.362,38
3.000	-13.296,03	-3.251,71	1.190,97
3.500	-10.157,18	1.561,19	6.744,32
4.000	-7.018,33	6.374,09	12.297,66
4.500	-3.879,48	11.186,99	17.851,01
5.000	-740,63	15.999,90	23.404,36

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 188: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 8,46</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-32.129,12	-32.129,12	-32.129,12
500	-28.990,28	-27.316,22	-26.575,78
1.000	-25.851,43	-22.503,32	-21.022,43
1.500	-22.712,58	-17.690,42	-15.469,08
2.000	-19.573,73	-12.877,52	-9.915,73
2.500	-16.434,88	-8.064,61	-4.362,38
3.000	-13.296,03	-3.251,71	1.190,97
3.500	-10.157,18	1.561,19	6.744,32
4.000	-7.018,33	6.374,09	12.297,66
4.500	-3.879,48	11.186,99	17.851,01
5.000	-740,63	15.999,90	23.404,36

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 189: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 51,90</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-32.129,12	-32.129,12	-32.129,12
500	-28.810,37	-27.040,36	-26.257,47
1.000	-25.491,61	-21.951,60	-20.385,82
1.500	-22.172,85	-16.862,83	-14.514,17
2.000	-18.854,09	-11.774,07	-8.642,52
2.500	-15.535,33	-6.685,31	-2.770,87
3.000	-12.216,57	-1.596,54	3.100,78
3.500	-8.897,81	3.492,22	8.972,43
4.000	-5.579,05	8.580,99	14.844,08
4.500	-2.260,29	13.669,75	20.715,73
5.000	1.058,47	18.758,51	26.587,38

Fonte: Elaboração do autor

## APÊNDICE IX

Tabelas contendo o lucro total, a valor presente, da venda de crédito de carbono, variando-se o valor do crédito, sendo comuns aos cenários C.1 e C.2, do veículo com compactador de 15 m<sup>3</sup>.

**Tabela 190: Lucro total da venda de crédito de carbono ( $Z_c = R\$ 8,46$ )**

<b>LUCRO TOTAL, A VALOR PRESENTE, DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO (<math>Z_c = R\\$ 8,46</math>)</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$LT_{VP_{C15\%}}$	$LT_{VP_{C25\%}}$	$LT_{VP_{C30\%}}$
0	0	0	0
500	27,18	41,67	48,08
1.000	54,35	83,34	96,16
1.500	81,53	125,01	144,24
2.000	108,70	166,68	192,32
2.500	135,88	208,34	240,40
3.000	163,05	250,01	288,48
3.500	190,23	291,68	336,56
4.000	217,40	333,35	384,64
4.500	244,58	375,02	432,72
5.000	271,75	416,69	480,80

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 191: Lucro total da venda de crédito de carbono ( $Z_c = R\$ 51,90$ )**

<b>LUCRO TOTAL, A VALOR PRESENTE, DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO (<math>Z_c = R\\$ 51,90</math>)</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$LT_{VP_{C15\%}}$	$LT_{VP_{C25\%}}$	$LT_{VP_{C30\%}}$
0	0	0	0
500	166,71	255,63	294,96
1.000	333,43	511,26	589,91
1.500	500,14	766,89	884,87
2.000	666,86	1.022,51	1.179,82
2.500	833,57	1.278,14	1.474,78
3.000	1.000,29	1.533,77	1.769,74
3.500	1.167,00	1.789,40	2.064,69
4.000	1.333,71	2.045,03	2.359,65
4.500	1.500,43	2.300,66	2.654,60
5.000	1.667,14	2.556,28	2.949,56

Fonte: Elaboração do autor

## APÊNDICE X

Tabelas de redução total no custo de operação e retorno financeiro (com e sem a venda de crédito de carbono), referentes ao cenário C.1, para o veículo com compactador de 15 m<sup>3</sup>.

**Tabela 192: Redução total no custo de operação para o cenário C.1**

<b>REDUÇÃO TOTAL NO CUSTO DE OPERAÇÃO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$\Delta CO_{\text{TV}P_{15\%}}$	$\Delta CO_{\text{TV}P_{25\%}}$	$\Delta CO_{\text{TV}P_{30\%}}$
0	0	0	0
500	2.282,64	3.500,04	4.038,51
1.000	4.565,27	7.000,08	8.077,02
1.500	6.847,91	10.500,12	12.115,53
2.000	9.130,54	14.000,16	16.154,04
2.500	11.413,18	17.500,21	20.192,55
3.000	13.695,81	21.000,25	24.231,05
3.500	15.978,45	24.500,29	28.269,56
4.000	18.261,08	28.000,33	32.308,07
4.500	20.543,72	31.500,37	36.346,58
5.000	22.826,36	35.000,41	40.385,09

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 193: Retorno financeiro para o cenário C.1**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{\text{PB}_{15\%}}$	$R_{\text{PB}_{25\%}}$	$R_{\text{PB}_{30\%}}$
0	-32.819,13	-32.819,13	-32.819,13
500	-30.509,31	-29.277,42	-28.732,54
1.000	-28.199,50	-25.735,71	-24.645,95
1.500	-25.889,69	-22.194,00	-20.559,36
2.000	-23.579,88	-18.652,29	-16.472,77
2.500	-21.270,07	-15.110,58	-12.386,18
3.000	-18.960,26	-11.568,87	-8.299,59
3.500	-16.650,45	-8.027,16	-4.213,01
4.000	-14.340,64	-4.485,44	-126,42
4.500	-12.030,83	-943,73	3.960,17
5.000	-9.721,02	2.597,98	8.046,76

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 194: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 8,46</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-32.819,13	-32.819,13	-32.819,13
500	-30.509,31	-29.277,42	-28.732,54
1.000	-28.199,50	-25.735,71	-24.645,95
1.500	-25.889,69	-22.194,00	-20.559,36
2.000	-23.579,88	-18.652,29	-16.472,77
2.500	-21.270,07	-15.110,58	-12.386,18
3.000	-18.960,26	-11.568,87	-8.299,59
3.500	-16.650,45	-8.027,16	-4.213,01
4.000	-14.340,64	-4.485,44	-126,42
4.500	-12.030,83	-943,73	3.960,17
5.000	-9.721,02	2.597,98	8.046,76

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 195: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 51,90</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-32.819,13	-32.819,13	-32.819,13
500	-30.369,78	-29.063,46	-28.485,66
1.000	-27.920,43	-25.307,79	-24.152,20
1.500	-25.471,08	-21.552,12	-19.818,73
2.000	-23.021,73	-17.796,45	-15.485,27
2.500	-20.572,38	-14.040,78	-11.151,80
3.000	-18.123,03	-10.285,11	-6.818,34
3.500	-15.673,68	-6.529,44	-2.484,87
4.000	-13.224,33	-2.773,77	1.848,59
4.500	-10.774,98	981,90	6.182,06
5.000	-8.325,63	4.737,57	10.515,52

Fonte: Elaboração do autor

## APÊNDICE XI

Tabelas de redução total no custo de operação e retorno financeiro (com e sem a venda de crédito de carbono), referentes ao cenário C.2, para o veículo com compactador de 15 m<sup>3</sup>.

**Tabela 196: Redução total no custo de operação para o cenário C.2**

<b>REDUÇÃO TOTAL NO CUSTO DE OPERAÇÃO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$\Delta CO_{\text{TV}P_{15\%}}$	$\Delta CO_{\text{TV}P_{25\%}}$	$\Delta CO_{\text{TV}P_{30\%}}$
0	0	0	0
500	2.345,81	3.596,91	4.150,28
1.000	4.691,62	7.193,82	8.300,56
1.500	7.037,43	10.790,73	12.450,84
2.000	9.383,24	14.387,64	16.601,12
2.500	11.729,05	17.984,54	20.751,40
3.000	14.074,86	21.581,45	24.901,68
3.500	16.420,67	25.178,36	29.051,96
4.000	18.766,48	28.775,27	33.202,23
4.500	21.112,29	32.372,18	37.352,51
5.000	23.458,10	35.969,09	41.502,79

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 197: Retorno financeiro para o cenário C.2**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{\text{PB}_{15\%}}$	$R_{\text{PB}_{25\%}}$	$R_{\text{PB}_{30\%}}$
0	-32.819,13	-32.819,13	-32.819,13
500	-30.446,14	-29.180,55	-28.620,77
1.000	-28.073,15	-25.541,97	-24.422,41
1.500	-25.700,17	-21.903,39	-20.224,05
2.000	-23.327,18	-18.264,82	-16.025,69
2.500	-20.954,20	-14.626,24	-11.827,33
3.000	-18.581,21	-10.987,66	-7.628,97
3.500	-16.208,23	-7.349,08	-3.430,61
4.000	-13.835,24	-3.710,50	767,74
4.500	-11.462,26	-71,93	4.966,10
5.000	-9.089,27	3.566,65	9.164,46

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 198: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 8,46</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-32.819,13	-32.819,13	-32.819,13
500	-30.446,14	-29.180,55	-28.620,77
1.000	-28.073,15	-25.541,97	-24.422,41
1.500	-25.700,17	-21.903,39	-20.224,05
2.000	-23.327,18	-18.264,82	-16.025,69
2.500	-20.954,20	-14.626,24	-11.827,33
3.000	-18.581,21	-10.987,66	-7.628,97
3.500	-16.208,23	-7.349,08	-3.430,61
4.000	-13.835,24	-3.710,50	767,74
4.500	-11.462,26	-71,93	4.966,10
5.000	-9.089,27	3.566,65	9.164,46

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 199: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 51,90</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-32.819,13	-32.819,13	-32.819,13
500	-30.306,60	-28.966,59	-28.373,89
1.000	-27.794,08	-25.114,05	-23.928,66
1.500	-25.281,55	-21.261,51	-19.483,42
2.000	-22.769,03	-17.408,98	-15.038,19
2.500	-20.256,50	-13.556,44	-10.592,95
3.000	-17.743,98	-9.703,90	-6.147,71
3.500	-15.231,46	-5.851,37	-1.702,48
4.000	-12.718,93	-1.998,83	2.742,76
4.500	-10.206,41	1.853,71	7.187,99
5.000	-7.693,88	5.706,25	11.633,23

Fonte: Elaboração do autor

## APÊNDICE XII

Tabelas contendo o lucro total, a valor presente, da venda de crédito de carbono, variando-se o valor do crédito, sendo comuns aos cenários D.1 e D.2, do veículo com compactador de 15 m<sup>3</sup>.

**Tabela 200: Lucro total da venda de crédito de carbono ( $Z_c = R\$ 8,46$ )**

<b>LUCRO TOTAL, A VALOR PRESENTE, DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO (<math>Z_c = R\\$ 8,46</math>)</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$LT_{VP_{C15\%}}$	$LT_{VP_{C25\%}}$	$LT_{VP_{C30\%}}$
0	0	0	0
500	18,74	28,74	33,16
1.000	37,49	57,48	66,32
1.500	56,23	86,22	99,48
2.000	74,97	114,96	132,64
2.500	93,72	143,70	165,80
3.000	112,46	172,44	198,96
3.500	131,20	201,18	232,13
4.000	149,94	229,91	265,29
4.500	168,69	258,65	298,45
5.000	215,85	330,97	381,89

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 201: Lucro total da venda de crédito de carbono ( $Z_c = R\$ 51,90$ )**

<b>LUCRO TOTAL, A VALOR PRESENTE, DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO (<math>Z_c = R\\$ 51,90</math>)</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$LT_{VP_{C15\%}}$	$LT_{VP_{C25\%}}$	$LT_{VP_{C30\%}}$
0	0	0	0
500	114,98	176,31	203,43
1.000	229,97	352,62	406,87
1.500	344,95	528,93	610,30
2.000	459,94	705,23	813,73
2.500	574,92	881,54	1.017,17
3.000	689,90	1.057,85	1.220,60
3.500	804,89	1.234,16	1.424,03
4.000	919,87	1.410,47	1.627,46
4.500	1.034,85	1.586,78	1.830,90
5.000	1.149,84	1.763,09	2.034,33

Fonte: Elaboração do autor

## APÊNDICE XIII

Tabelas de redução total no custo de operação e retorno financeiro (com e sem a venda de crédito de carbono), referentes ao cenário D.1, para o veículo com compactador de 15 m<sup>3</sup>.

**Tabela 202: Redução total no custo de operação para o cenário D.1**

<b>REDUÇÃO TOTAL NO CUSTO DE OPERAÇÃO</b>			
<b>d<sub>mensal</sub> (km)</b>	<b><math>\Delta CO_{TVP_{15\%}}</math></b>	<b><math>\Delta CO_{TVP_{25\%}}</math></b>	<b><math>\Delta CO_{TVP_{30\%}}</math></b>
0	0	0	0
500	1.554,49	2.383,56	2.750,26
1.000	3.108,99	4.767,11	5.500,51
1.500	4.663,48	7.150,67	8.250,77
2.000	6.217,97	9.534,22	11.001,03
2.500	7.772,46	11.917,78	13.751,28
3.000	9.326,96	14.301,34	16.501,54
3.500	10.881,45	16.684,89	19.251,80
4.000	12.435,94	19.068,45	22.002,05
4.500	13.990,44	21.452,00	24.752,31
5.000	15.544,93	23.835,56	27.502,57

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 203: Retorno financeiro para o cenário D.1**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
<b>d<sub>mensal</sub> (km)</b>	<b>R<sub>PB<sub>15%</sub></sub></b>	<b>R<sub>PB<sub>25%</sub></sub></b>	<b>R<sub>PB<sub>30%</sub></sub></b>
0	-33.527,28	-33.527,28	-33.527,28
500	-31.954,05	-31.114,99	-30.743,87
1.000	-30.380,81	-28.702,69	-27.960,45
1.500	-28.807,58	-26.290,40	-25.177,03
2.000	-27.234,34	-23.878,10	-22.393,61
2.500	-25.661,10	-21.465,81	-19.610,20
3.000	-24.087,87	-19.053,51	-16.826,78
3.500	-22.514,63	-16.641,22	-14.043,36
4.000	-20.941,40	-14.228,92	-11.259,94
4.500	-19.368,16	-11.816,63	-8.476,53
5.000	-17.794,92	-9.404,33	-5.693,11

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 204: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 8,46</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-33.527,28	-33.527,28	-33.527,28
500	-31.954,05	-31.114,99	-30.743,87
1.000	-30.380,81	-28.702,69	-27.960,45
1.500	-28.807,58	-26.290,40	-25.177,03
2.000	-27.234,34	-23.878,10	-22.393,61
2.500	-25.661,10	-21.465,81	-19.610,20
3.000	-24.087,87	-19.053,51	-16.826,78
3.500	-22.514,63	-16.641,22	-14.043,36
4.000	-20.941,40	-14.228,92	-11.259,94
4.500	-19.368,16	-11.816,63	-8.476,53
5.000	-17.794,92	-9.404,33	-5.693,11

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 205: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 51,90</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-33.527,28	-33.527,28	-33.527,28
500	-31.857,81	-30.967,42	-30.573,59
1.000	-30.188,33	-28.407,56	-27.619,91
1.500	-28.518,85	-25.847,69	-24.666,22
2.000	-26.849,38	-23.287,83	-21.712,53
2.500	-25.179,90	-20.727,96	-18.758,84
3.000	-23.510,42	-18.168,10	-15.805,15
3.500	-21.840,95	-15.608,23	-12.851,46
4.000	-20.171,47	-13.048,37	-9.897,77
4.500	-18.501,99	-10.488,50	-6.944,08
5.000	-16.832,52	-7.928,64	-3.990,39

Fonte: Elaboração do autor

## APÊNDICE XIV

Tabelas de redução total no custo de operação e retorno financeiro (com e sem a venda de crédito de carbono), referentes ao cenário D.2, para o veículo com compactador de 15 m<sup>3</sup>.

**Tabela 206: Redução total no custo de operação para o cenário D.2**

<b>REDUÇÃO TOTAL NO CUSTO DE OPERAÇÃO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$\Delta\text{CO}_{\text{TVP}_{15\%}}$	$\Delta\text{CO}_{\text{TVP}_{25\%}}$	$\Delta\text{CO}_{\text{TVP}_{30\%}}$
0	0	0	0
500	1.575,96	2.416,48	2.788,25
1.000	3.151,93	4.832,96	5.576,49
1.500	4.727,89	7.249,44	8.364,74
2.000	6.303,86	9.665,92	11.152,98
2.500	7.879,82	12.082,40	13.941,23
3.000	9.455,79	14.498,88	16.729,47
3.500	11.031,75	16.915,36	19.517,72
4.000	12.607,72	19.331,84	22.305,96
4.500	14.183,68	21.748,32	25.094,21
5.000	15.759,65	24.164,79	27.882,46

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 207: Retorno financeiro para o cenário D.2**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{\text{PB}_{15\%}}$	$R_{\text{PB}_{25\%}}$	$R_{\text{PB}_{30\%}}$
0	-33.527,28	-33.527,28	-33.527,28
500	-31.932,58	-31.082,07	-30.705,88
1.000	-30.337,87	-28.636,85	-27.884,47
1.500	-28.743,16	-26.191,63	-25.063,07
2.000	-27.148,45	-23.746,41	-22.241,66
2.500	-25.553,75	-21.301,19	-19.420,25
3.000	-23.959,04	-18.855,97	-16.598,85
3.500	-22.364,33	-16.410,75	-13.777,44
4.000	-20.769,62	-13.965,53	-10.956,03
4.500	-19.174,91	-11.520,32	-8.134,63
5.000	-17.580,21	-9.075,10	-5.313,22

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 208: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 8,46</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-33.527,28	-33.527,28	-33.527,28
500	-31.932,58	-31.082,07	-30.705,88
1.000	-30.337,87	-28.636,85	-27.884,47
1.500	-28.743,16	-26.191,63	-25.063,07
2.000	-27.148,45	-23.746,41	-22.241,66
2.500	-25.553,75	-21.301,19	-19.420,25
3.000	-23.959,04	-18.855,97	-16.598,85
3.500	-22.364,33	-16.410,75	-13.777,44
4.000	-20.769,62	-13.965,53	-10.956,03
4.500	-19.174,91	-11.520,32	-8.134,63
5.000	-17.580,21	-9.075,10	-5.313,22

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 209: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 51,90</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-33.527,28	-33.527,28	-33.527,28
500	-31.836,34	-30.934,50	-30.535,61
1.000	-30.145,39	-28.341,71	-27.543,93
1.500	-28.454,44	-25.748,92	-24.552,25
2.000	-26.763,49	-23.156,13	-21.560,57
2.500	-25.072,54	-20.563,34	-18.568,89
3.000	-23.381,59	-17.970,56	-15.577,21
3.500	-21.690,64	-15.377,77	-12.585,54
4.000	-19.999,69	-12.784,98	-9.593,86
4.500	-18.308,75	-10.192,19	-6.602,18
5.000	-16.617,80	-7.599,40	-3.610,50

Fonte: Elaboração do autor

## APÊNDICE XV

Tabelas de redução no custo de operação do veículo híbrido com compactador de 10 m<sup>3</sup>, variando-se a distância média mensal percorrida e a taxa de redução no consumo de combustível, considerando-se a taxa de aumento anual do preço do óleo diesel igual a 2,7%. Essas tabelas são válidas para todos os cenários considerados.

**Tabela 210: Redução no custo de operação anual do veículo híbrido para  $i_{\text{cons}} = 15\%$  e  $i_D = 2,7\%$**

REDUÇÃO NO CUSTO DE OPERAÇÃO						
$d_{\text{mensal}}$ (km)	REDUÇÃO	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5
0	$\Delta CO_n$	0	0	0	0	0
	$\Delta CO_{VP_n}$	0	0	0	0	0
500	$\Delta CO_n$	658,10	675,87	694,12	712,86	732,11
	$\Delta CO_{VP_n}$	613,62	587,58	562,66	538,79	515,93
1.000	$\Delta CO_n$	1.316,21	1.351,74	1.388,24	1.425,72	1.464,22
	$\Delta CO_{VP_n}$	1.227,23	1.175,17	1.125,31	1.077,57	1.031,86
1.500	$\Delta CO_n$	1.974,31	2.027,61	2.082,36	2.138,58	2.196,33
	$\Delta CO_{VP_n}$	1.840,85	1.762,75	1.687,97	1.616,36	1.547,78
2.000	$\Delta CO_n$	2.632,41	2.703,49	2.776,48	2.851,45	2.928,43
	$\Delta CO_{VP_n}$	2.454,46	2.350,33	2.250,62	2.155,14	2.063,71
2.500	$\Delta CO_n$	3.290,51	3.379,36	3.470,60	3.564,31	3.660,54
	$\Delta CO_{VP_n}$	3.068,08	2.937,92	2.813,28	2.693,93	2.579,64
3.000	$\Delta CO_n$	3.948,62	4.055,23	4.164,72	4.277,17	4.392,65
	$\Delta CO_{VP_n}$	3.681,69	3.525,50	3.375,93	3.232,71	3.095,57
3.500	$\Delta CO_n$	4.606,72	4.731,10	4.858,84	4.990,03	5.124,76
	$\Delta CO_{VP_n}$	4.295,31	4.113,08	3.938,59	3.771,50	3.611,50
4.000	$\Delta CO_n$	5.264,82	5.406,97	5.552,96	5.702,89	5.856,87
	$\Delta CO_{VP_n}$	4.908,93	4.700,67	4.501,25	4.310,28	4.127,42
4.500	$\Delta CO_n$	5.922,92	6.082,84	6.247,08	6.415,75	6.588,98
	$\Delta CO_{VP_n}$	5.522,54	5.288,25	5.063,90	4.849,07	4.643,35
5.000	$\Delta CO_n$	6.581,03	6.758,72	6.941,20	7.128,61	7.321,09
	$\Delta CO_{VP_n}$	6.136,16	5.875,83	5.626,56	5.387,85	5.159,28

Fonte: Elaboração do autor

Tabela 211: Redução no custo de operação anual do veículo híbrido para  $i_{\text{cons}} = 25\%$  e  $i_p = 2,7\%$

REDUÇÃO NO CUSTO DE OPERAÇÃO						
$d_{\text{mensal}}$ (km)	REDUÇÃO	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5
0	$\Delta CO_n$	0	0	0	0	0
	$\Delta CO_{VP_n}$	0	0	0	0	0
500	$\Delta CO_n$	1.009,09	1.036,34	1.064,32	1.093,05	1.122,57
	$\Delta CO_{VP_n}$	940,88	900,96	862,74	826,14	791,09
1.000	$\Delta CO_n$	2.018,18	2.072,67	2.128,63	2.186,11	2.245,13
	$\Delta CO_{VP_n}$	1.881,75	1.801,92	1.725,48	1.652,28	1.582,18
1.500	$\Delta CO_n$	3.027,27	3.109,01	3.192,95	3.279,16	3.367,70
	$\Delta CO_{VP_n}$	2.822,63	2.702,88	2.588,22	2.478,41	2.373,27
2.000	$\Delta CO_n$	4.036,36	4.145,35	4.257,27	4.372,22	4.490,27
	$\Delta CO_{VP_n}$	3.763,51	3.603,85	3.450,95	3.304,55	3.164,36
2.500	$\Delta CO_n$	5.045,45	5.181,68	5.321,59	5.465,27	5.612,83
	$\Delta CO_{VP_n}$	4.704,39	4.504,81	4.313,69	4.130,69	3.955,45
3.000	$\Delta CO_n$	6.054,55	6.218,02	6.385,90	6.558,32	6.735,40
	$\Delta CO_{VP_n}$	5.645,26	5.405,77	5.176,43	4.956,83	4.746,54
3.500	$\Delta CO_n$	7.063,64	7.254,35	7.450,22	7.651,38	7.857,97
	$\Delta CO_{VP_n}$	6.586,14	6.306,73	6.039,17	5.782,96	5.537,63
4.000	$\Delta CO_n$	8.072,73	8.290,69	8.514,54	8.744,43	8.980,53
	$\Delta CO_{VP_n}$	7.527,02	7.207,69	6.901,91	6.609,10	6.328,72
4.500	$\Delta CO_n$	9.081,82	9.327,03	9.578,86	9.837,49	10.103,10
	$\Delta CO_{VP_n}$	8.467,90	8.108,65	7.764,65	7.435,24	7.119,80
5.000	$\Delta CO_n$	10.090,91	10.363,36	10.643,17	10.930,54	11.225,66
	$\Delta CO_{VP_n}$	9.408,77	9.009,61	8.627,39	8.261,38	7.910,89

Fonte: Elaboração do autor

Tabela 212: Redução no custo de operação anual do veículo híbrido para  $i_{\text{cons}} = 30\%$  e  $i_D = 2,7\%$

REDUÇÃO NO CUSTO DE OPERAÇÃO						
$d_{\text{mensal}}$ (km)	REDUÇÃO	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5
0	$\Delta CO_n$	0	0	0	0	0
	$\Delta CO_{VP_n}$	0	0	0	0	0
500	$\Delta CO_n$	1.164,34	1.195,77	1.228,06	1.261,22	1.295,27
	$\Delta CO_{VP_n}$	1.085,63	1.039,57	995,47	953,24	912,80
1.000	$\Delta CO_n$	2.328,67	2.391,55	2.456,12	2.522,43	2.590,54
	$\Delta CO_{VP_n}$	2.171,26	2.079,14	1.990,94	1.906,47	1.825,59
1.500	$\Delta CO_n$	3.493,01	3.587,32	3.684,18	3.783,65	3.885,81
	$\Delta CO_{VP_n}$	3.256,88	3.118,71	2.986,40	2.859,71	2.738,39
2.000	$\Delta CO_n$	4.657,34	4.783,09	4.912,23	5.044,86	5.181,08
	$\Delta CO_{VP_n}$	4.342,51	4.158,28	3.981,87	3.812,94	3.651,18
2.500	$\Delta CO_n$	5.821,68	5.978,86	6.140,29	6.306,08	6.476,35
	$\Delta CO_{VP_n}$	5.428,14	5.197,85	4.977,34	4.766,18	4.563,98
3.000	$\Delta CO_n$	6.986,01	7.174,64	7.368,35	7.567,30	7.771,61
	$\Delta CO_{VP_n}$	6.513,77	6.237,42	5.972,81	5.719,41	5.476,77
3.500	$\Delta CO_n$	8.150,35	8.370,41	8.596,41	8.828,51	9.066,88
	$\Delta CO_{VP_n}$	7.599,39	7.277,00	6.968,27	6.672,65	6.389,57
4.000	$\Delta CO_n$	9.314,69	9.566,18	9.824,47	10.089,73	10.362,15
	$\Delta CO_{VP_n}$	8.685,02	8.316,57	7.963,74	7.625,89	7.302,36
4.500	$\Delta CO_n$	10.479,02	10.761,95	11.052,53	11.350,95	11.657,42
	$\Delta CO_{VP_n}$	9.770,65	9.356,14	8.959,21	8.579,12	8.215,16
5.000	$\Delta CO_n$	11.643,36	11.957,73	12.280,59	12.612,16	12.952,69
	$\Delta CO_{VP_n}$	10.856,28	10.395,71	9.954,68	9.532,36	9.127,95

Fonte: Elaboração do autor

## APÊNDICE XVI

Tabelas de redução no custo de operação do veículo híbrido com compactador de 10 m<sup>3</sup>, variando-se a distância média mensal percorrida e a taxa de redução no consumo de combustível, considerando-se a taxa de aumento anual do preço do óleo diesel igual a 5,6%. Essas tabelas são válidas para todos os cenários considerados.

**Tabela 213: Redução no custo de operação anual do veículo híbrido para  $i_{\text{cons}} = 15\%$  e  $i_D = 5,6\%$**

REDUÇÃO NO CUSTO DE OPERAÇÃO						
$d_{\text{mensal}}$ (km)	REDUÇÃO	ANO1	ANO2	ANO3	ANO4	ANO5
0	$\Delta CO_n$	0	0	0	0	0
	$\Delta CO_{VP_n}$	0	0	0	0	0
500	$\Delta CO_n$	658,10	694,96	733,87	774,97	818,37
	$\Delta CO_{VP_n}$	613,62	604,18	594,88	585,73	576,72
1.000	$\Delta CO_n$	1.316,21	1.389,91	1.467,75	1.549,94	1.636,74
	$\Delta CO_{VP_n}$	1.227,23	1.208,35	1.189,76	1.171,46	1.153,43
1.500	$\Delta CO_n$	1.974,31	2.084,87	2.201,62	2.324,91	2.455,11
	$\Delta CO_{VP_n}$	1.840,85	1.812,53	1.784,64	1.757,19	1.730,15
2.000	$\Delta CO_n$	2.632,41	2.779,83	2.935,50	3.099,88	3.273,48
	$\Delta CO_{VP_n}$	2.454,46	2.416,70	2.379,52	2.342,91	2.306,87
2.500	$\Delta CO_n$	3.290,51	3.474,78	3.669,37	3.874,86	4.091,85
	$\Delta CO_{VP_n}$	3.068,08	3.020,88	2.974,40	2.928,64	2.883,59
3.000	$\Delta CO_n$	3.948,62	4.169,74	4.403,24	4.649,83	4.910,22
	$\Delta CO_{VP_n}$	3.681,69	3.625,05	3.569,28	3.514,37	3.460,30
3.500	$\Delta CO_n$	4.606,72	4.864,70	5.137,12	5.424,80	5.728,59
	$\Delta CO_{VP_n}$	4.295,31	4.229,23	4.164,16	4.100,10	4.037,02
4.000	$\Delta CO_n$	5.264,82	5.559,65	5.870,99	6.199,77	6.546,96
	$\Delta CO_{VP_n}$	4.908,93	4.833,40	4.759,04	4.685,83	4.613,74
4.500	$\Delta CO_n$	5.922,92	6.254,61	6.604,87	6.974,74	7.365,32
	$\Delta CO_{VP_n}$	5.522,54	5.437,58	5.353,92	5.271,56	5.190,45
5.000	$\Delta CO_n$	6.581,03	6.949,57	7.338,74	7.749,71	8.183,69
	$\Delta CO_{VP_n}$	6.136,16	6.041,75	5.948,80	5.857,28	5.767,17

Fonte: Elaboração do autor

Tabela 214: Redução no custo de operação anual do veículo híbrido para  $i_{\text{cons}} = 25\%$  e  $i_D = 5,6\%$

REDUÇÃO NO CUSTO DE OPERAÇÃO						
$d_{\text{mensal}}$ (km)	REDUÇÃO	ANO1	ANO2	ANO3	ANO4	ANOS5
0	$\Delta CO_n$	0	0	0	0	0
	$\Delta CO_{VP_n}$	0	0	0	0	0
500	$\Delta CO_n$	1.009,09	1.065,60	1.125,27	1.188,29	1.254,83
	$\Delta CO_{VP_n}$	940,88	926,40	912,15	898,12	884,30
1.000	$\Delta CO_n$	2.018,18	2.131,20	2.250,55	2.376,58	2.509,67
	$\Delta CO_{VP_n}$	1.881,75	1.852,80	1.824,30	1.796,23	1.768,60
1.500	$\Delta CO_n$	3.027,27	3.196,80	3.375,82	3.564,87	3.764,50
	$\Delta CO_{VP_n}$	2.822,63	2.779,21	2.736,45	2.694,35	2.652,90
2.000	$\Delta CO_n$	4.036,36	4.262,40	4.501,09	4.753,16	5.019,33
	$\Delta CO_{VP_n}$	3.763,51	3.705,61	3.648,60	3.592,47	3.537,20
2.500	$\Delta CO_n$	5.045,45	5.328,00	5.626,37	5.941,44	6.274,17
	$\Delta CO_{VP_n}$	4.704,39	4.632,01	4.560,75	4.490,58	4.421,50
3.000	$\Delta CO_n$	6.054,55	6.393,60	6.751,64	7.129,73	7.529,00
	$\Delta CO_{VP_n}$	5.645,26	5.558,41	5.472,90	5.388,70	5.305,80
3.500	$\Delta CO_n$	7.063,64	7.459,20	7.876,92	8.318,02	8.783,83
	$\Delta CO_{VP_n}$	6.586,14	6.484,82	6.385,05	6.286,82	6.190,10
4.000	$\Delta CO_n$	8.072,73	8.524,80	9.002,19	9.506,31	10.038,66
	$\Delta CO_{VP_n}$	7.527,02	7.411,22	7.297,20	7.184,93	7.074,40
4.500	$\Delta CO_n$	9.081,82	9.590,40	10.127,46	10.694,60	11.293,50
	$\Delta CO_{VP_n}$	8.467,90	8.337,62	8.209,35	8.083,05	7.958,70
5.000	$\Delta CO_n$	10.090,91	10.656,00	11.252,74	11.882,89	12.548,33
	$\Delta CO_{VP_n}$	9.408,77	9.264,02	9.121,50	8.981,17	8.843,00

Fonte: Elaboração do autor

Tabela 215: Redução no custo de operação anual do veículo híbrido para  $i_{\text{cons}} = 30$  e  $i_D = 5,6\%$

REDUÇÃO NO CUSTO DE OPERAÇÃO						
$d_{\text{mensal}}$ (km)	REDUÇÃO	ANO1	ANO2	ANO3	ANO4	ANOS5
0	$\Delta CO_n$	0	0	0	0	0
	$\Delta CO_{VP_n}$	0	0	0	0	0
500	$\Delta CO_n$	1.164,34	1.229,54	1.298,39	1.371,10	1.447,88
	$\Delta CO_{VP_n}$	1.085,63	1.068,93	1.052,48	1.036,29	1.020,35
1.000	$\Delta CO_n$	2.328,67	2.459,08	2.596,79	2.742,21	2.895,77
	$\Delta CO_{VP_n}$	2.171,26	2.137,85	2.104,96	2.072,58	2.040,69
1.500	$\Delta CO_n$	3.493,01	3.688,62	3.895,18	4.113,31	4.343,65
	$\Delta CO_{VP_n}$	3.256,88	3.206,78	3.157,44	3.108,87	3.061,04
2.000	$\Delta CO_n$	4.657,34	4.918,15	5.193,57	5.484,41	5.791,54
	$\Delta CO_{VP_n}$	4.342,51	4.275,70	4.209,92	4.145,15	4.081,38
2.500	$\Delta CO_n$	5.821,68	6.147,69	6.491,96	6.855,51	7.239,42
	$\Delta CO_{VP_n}$	5.428,14	5.344,63	5.262,40	5.181,44	5.101,73
3.000	$\Delta CO_n$	6.986,01	7.377,23	7.790,36	8.226,62	8.687,31
	$\Delta CO_{VP_n}$	6.513,77	6.413,55	6.314,88	6.217,73	6.122,07
3.500	$\Delta CO_n$	8.150,35	8.606,77	9.088,75	9.597,72	10.135,19
	$\Delta CO_{VP_n}$	7.599,39	7.482,48	7.367,36	7.254,02	7.142,42
4.000	$\Delta CO_n$	9.314,69	9.836,31	10.387,14	10.968,82	11.583,07
	$\Delta CO_{VP_n}$	8.685,02	8.551,41	8.419,85	8.290,31	8.162,77
4.500	$\Delta CO_n$	10.479,02	11.065,85	11.685,53	12.339,92	13.030,96
	$\Delta CO_{VP_n}$	9.770,65	9.620,33	9.472,33	9.326,60	9.183,11
5.000	$\Delta CO_n$	11.643,36	12.295,38	12.983,93	13.711,03	14.478,84
	$\Delta CO_{VP_n}$	10.856,28	10.689,26	10.524,81	10.362,89	10.203,46

Fonte: Elaboração do autor

## APÊNDICE XVII

Tabelas contendo o lucro total, a valor presente, da venda de crédito de carbono, variando-se o valor do crédito, sendo comuns aos cenários A.1 e A.2, do veículo com compactador de 10 m<sup>3</sup>.

**Tabela 216: Lucro total da venda de crédito de carbono ( $Z_c = R\$ 8,46$ )**

<b>LUCRO TOTAL, A VALOR PRESENTE, DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO (<math>Z_c = R\\$ 8,46</math>)</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$LT_{VP_{C15\%}}$	$LT_{VP_{C25\%}}$	$LT_{VP_{C30\%}}$
0	0	0	0
500	32,74	50,20	57,92
1.000	65,48	100,40	115,85
1.500	98,22	150,60	173,77
2.000	130,96	200,80	231,69
2.500	163,70	251,00	289,62
3.000	196,44	301,20	347,54
3.500	229,18	351,40	405,46
4.000	261,91	401,60	463,39
4.500	294,65	451,80	521,31
5.000	327,39	502,00	579,23

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 217: Lucro total da venda de crédito de carbono ( $Z_c = R\$ 51,90$ )**

<b>LUCRO TOTAL, A VALOR PRESENTE, DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO (<math>Z_c = R\\$ 51,90</math>)</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$LT_{VP_{C15\%}}$	$LT_{VP_{C25\%}}$	$LT_{VP_{C30\%}}$
0	0	0	0
500	200,85	307,97	355,35
1.000	401,70	615,93	710,69
1.500	602,54	923,90	1.066,04
2.000	803,39	1.231,87	1.421,38
2.500	1.004,24	1.539,83	1.776,73
3.000	1.205,09	1.847,80	2.132,07
3.500	1.405,93	2.155,76	2.487,42
4.000	1.606,78	2.463,73	2.842,77
4.500	1.807,63	2.771,70	3.198,11
5.000	2.008,48	3.079,66	3.553,46

Fonte: Elaboração do autor

## APÊNDICE XVIII

Tabelas de redução total no custo de operação e retorno financeiro (com e sem a venda de crédito de carbono), referentes ao cenário A.1, para o veículo com compactador de 10 m<sup>3</sup>.

**Tabela 218: Redução total no custo de operação para o cenário A.1**

<b>REDUÇÃO TOTAL NO CUSTO DE OPERAÇÃO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$\Delta CO_{\text{TV}P_{15\%}}$	$\Delta CO_{\text{TV}P_{25\%}}$	$\Delta CO_{\text{TV}P_{30\%}}$
0	0	0	0
500	2.818,57	4.321,80	4.986,70
1.000	5.637,14	8.643,61	9.973,39
1.500	8.455,70	12.965,41	14.960,09
2.000	11.274,27	17.287,22	19.946,79
2.500	14.092,84	21.609,02	24.933,49
3.000	16.911,41	25.930,83	29.920,18
3.500	19.729,98	30.252,63	34.906,88
4.000	22.548,54	34.574,43	39.893,58
4.500	25.367,11	38.896,24	44.880,28
5.000	28.185,68	43.218,04	49.866,97

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 219: Retorno financeiro para o cenário A.1**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{\text{PB}_{15\%}}$	$R_{\text{PB}_{25\%}}$	$R_{\text{PB}_{30\%}}$
0	-25.121,16	-25.121,16	-25.121,16
500	-22.302,60	-20.799,36	-20.134,47
1.000	-19.484,03	-16.477,55	-15.147,77
1.500	-16.665,46	-12.155,75	-10.161,07
2.000	-13.846,89	-7.833,95	-5.174,37
2.500	-11.028,32	-3.512,14	-187,68
3.000	-8.209,75	809,66	4.799,02
3.500	-5.391,19	5.131,47	9.785,72
4.000	-2.572,62	9.453,27	14.772,42
4.500	245,95	13.775,08	19.759,11
5.000	3.064,52	18.096,88	24.745,81

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 220: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 8,46</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-25.121,16	-25.121,16	-25.121,16
500	-22.269,86	-20.749,16	-20.076,54
1.000	-19.418,55	-16.377,15	-15.031,92
1.500	-16.567,24	-12.005,15	-9.987,30
2.000	-13.715,93	-7.633,14	-4.942,68
2.500	-10.864,63	-3.261,14	101,94
3.000	-8.013,32	1.110,86	5.146,56
3.500	-5.162,01	5.482,87	10.191,18
4.000	-2.310,70	9.854,87	15.235,80
4.500	540,60	14.226,88	20.280,42
5.000	3.391,91	18.598,88	25.325,04

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 221: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 51,90</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-25.121,16	-25.121,16	-25.121,16
500	-22.101,75	-20.491,39	-19.779,12
1.000	-19.082,33	-15.861,62	-14.437,08
1.500	-16.062,92	-11.231,85	-9.095,03
2.000	-13.043,50	-6.602,08	-3.752,99
2.500	-10.024,08	-1.972,31	1.589,05
3.000	-7.004,67	2.657,46	6.931,10
3.500	-3.985,25	7.287,23	12.273,14
4.000	-965,84	11.917,00	17.615,18
4.500	2.053,58	16.546,77	22.957,22
5.000	5.072,99	21.176,54	28.299,27

Fonte: Elaboração do autor

## APÊNDICE XIX

Tabelas de redução total no custo de operação e retorno financeiro (com e sem a venda de crédito de carbono), referentes ao cenário A.2, para o veículo com compactador de 10 m<sup>3</sup>.

**Tabela 222: Redução total no custo de operação para o cenário A.2**

<b>REDUÇÃO TOTAL NO CUSTO DE OPERAÇÃO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$\Delta\text{CO}_{\text{TVP}_{15\%}}$	$\Delta\text{CO}_{\text{TVP}_{25\%}}$	$\Delta\text{CO}_{\text{TVP}_{30\%}}$
0	0	0	0
500	2.975,12	4.561,85	5.263,67
1.000	5.950,23	9.123,69	10.527,34
1.500	8.925,35	13.685,54	15.791,01
2.000	11.900,47	18.247,38	21.054,67
2.500	14.875,58	22.809,23	26.318,34
3.000	17.850,70	27.371,08	31.582,01
3.500	20.825,82	31.932,92	36.845,68
4.000	23.800,94	36.494,77	42.109,35
4.500	26.776,05	41.056,61	47.373,02
5.000	29.751,17	45.618,46	52.636,68

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 223: Retorno financeiro para o cenário A.2**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{\text{PB}_{15\%}}$	$R_{\text{PB}_{25\%}}$	$R_{\text{PB}_{30\%}}$
0	-25.121,16	-25.121,16	-25.121,16
500	-22.146,05	-20.559,32	-19.857,49
1.000	-19.170,93	-15.997,47	-14.593,83
1.500	-16.195,81	-11.435,63	-9.330,16
2.000	-13.220,70	-6.873,78	-4.066,49
2.500	-10.245,58	-2.311,93	1.197,18
3.000	-7.270,46	2.249,91	6.460,85
3.500	-4.295,34	6.811,76	11.724,52
4.000	-1.320,23	11.373,60	16.988,18
4.500	1.654,89	15.935,45	22.251,85
5.000	4.630,01	20.497,30	27.515,52

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 224: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 8,46</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-25.121,16	-25.121,16	-25.121,16
500	-22.113,31	-20.509,12	-19.799,57
1.000	-19.105,45	-15.897,07	-14.477,98
1.500	-16.097,59	-11.285,02	-9.156,39
2.000	-13.089,74	-6.672,98	-3.834,80
2.500	-10.081,88	-2.060,93	1.486,80
3.000	-7.074,03	2.551,11	6.808,39
3.500	-4.066,17	7.163,16	12.129,98
4.000	-1.058,31	11.775,21	17.451,57
4.500	1.949,54	16.387,25	22.773,16
5.000	4.957,40	20.999,30	28.094,76

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 225: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 51,90</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-25.121,16	-25.121,16	-25.121,16
500	-21.945,20	-20.251,35	-19.502,15
1.000	-18.769,23	-15.381,54	-13.883,13
1.500	-15.593,27	-10.511,73	-8.264,12
2.000	-12.417,31	-5.641,91	-2.645,11
2.500	-9.241,34	-772,10	2.973,91
3.000	-6.065,38	4.097,71	8.592,92
3.500	-2.889,41	8.967,52	14.211,94
4.000	286,55	13.837,34	19.830,95
4.500	3.462,52	18.707,15	25.449,96
5.000	6.638,48	23.576,96	31.068,98

Fonte: Elaboração do autor

## APÊNDICE XX

Tabelas contendo o lucro total, a valor presente, da venda de crédito de carbono, variando-se o valor do crédito, sendo comuns aos cenários B.1 e B.2, do veículo com compactador de 10 m<sup>3</sup>.

**Tabela 226: Lucro total da venda de crédito de carbono ( $Z_c = R\$ 8,46$ )**

<b>LUCRO TOTAL, A VALOR PRESENTE, DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO (<math>Z_c = R\\$ 8,46</math>)</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$LT_{VP_{C15\%}}$	$LT_{VP_{C25\%}}$	$LT_{VP_{C30\%}}$
0	0	0	0
500	27,07	41,51	47,90
1.000	54,15	83,03	95,80
1.500	81,22	124,54	143,70
2.000	108,30	166,06	191,60
2.500	135,37	207,57	239,51
3.000	162,45	249,09	287,41
3.500	189,52	290,60	335,31
4.000	216,60	332,11	383,21
4.500	243,67	373,63	431,11
5.000	270,75	415,14	479,01

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 227: Lucro total da venda de crédito de carbono ( $Z_c = R\$ 51,90$ )**

<b>LUCRO TOTAL, A VALOR PRESENTE, DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO (<math>Z_c = R\\$ 51,90</math>)</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$LT_{VP_{C15\%}}$	$LT_{VP_{C25\%}}$	$LT_{VP_{C30\%}}$
0	0	0	0
500	166,10	254,68	293,86
1.000	332,19	509,36	587,72
1.500	498,29	764,04	881,59
2.000	664,38	1.018,72	1.175,45
2.500	830,48	1.273,40	1.469,31
3.000	996,58	1.528,08	1.763,17
3.500	1.162,67	1.782,76	2.057,03
4.000	1.328,77	2.037,44	2.350,90
4.500	1.494,86	2.292,12	2.644,76
5.000	1.660,96	2.546,80	2.938,62

Fonte: Elaboração do autor

## APÊNDICE XXI

Tabelas de redução total no custo de operação e retorno financeiro (com e sem a venda de crédito de carbono), referentes ao cenário B.1, para o veículo com compactador de 10 m<sup>3</sup>.

**Tabela 228: Redução total no custo de operação para o cenário B.1**

<b>REDUÇÃO TOTAL NO CUSTO DE OPERAÇÃO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$\Delta CO_{\text{TV}P_{15\%}}$	$\Delta CO_{\text{TV}P_{25\%}}$	$\Delta CO_{\text{TV}P_{30\%}}$
0	0	0	0
500	2.302,64	3.530,71	4.073,90
1.000	4.605,28	7.061,43	8.147,80
1.500	6.907,92	10.592,14	12.221,71
2.000	9.210,56	14.122,86	16.295,61
2.500	11.513,20	17.653,57	20.369,51
3.000	13.815,84	21.184,29	24.443,41
3.500	16.118,48	24.715,00	28.517,31
4.000	18.421,12	28.245,72	32.591,22
4.500	20.723,76	31.776,43	36.665,12
5.000	23.026,40	35.307,15	40.739,02

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 229: Retorno financeiro para o cenário B.1**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{\text{PB}_{15\%}}$	$R_{\text{PB}_{25\%}}$	$R_{\text{PB}_{30\%}}$
0	-25.667,41	-25.667,41	-25.667,41
500	-23.337,70	-22.095,18	-21.545,61
1.000	-21.007,98	-18.522,96	-17.423,81
1.500	-18.678,27	-14.950,73	-13.302,00
2.000	-16.348,55	-11.378,50	-9.180,20
2.500	-14.018,84	-7.806,27	-5.058,40
3.000	-11.689,13	-4.234,04	-936,60
3.500	-9.359,41	-661,81	3.185,21
4.000	-7.029,70	2.910,42	7.307,01
4.500	-4.699,98	6.482,65	11.428,81
5.000	-2.370,27	10.054,88	15.550,62

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 230: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 8,46</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-25.667,41	-25.667,41	-25.667,41
500	-23.337,70	-22.095,18	-21.545,61
1.000	-21.007,98	-18.522,96	-17.423,81
1.500	-18.678,27	-14.950,73	-13.302,00
2.000	-16.348,55	-11.378,50	-9.180,20
2.500	-14.018,84	-7.806,27	-5.058,40
3.000	-11.689,13	-4.234,04	-936,60
3.500	-9.359,41	-661,81	3.185,21
4.000	-7.029,70	2.910,42	7.307,01
4.500	-4.699,98	6.482,65	11.428,81
5.000	-2.370,27	10.054,88	15.550,62

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 231: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 51,90</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-25.667,41	-25.667,41	-25.667,41
500	-23.198,68	-21.882,02	-21.299,65
1.000	-20.729,94	-18.096,62	-16.931,89
1.500	-18.261,21	-14.311,23	-12.564,12
2.000	-15.792,47	-10.525,83	-8.196,36
2.500	-13.323,73	-6.740,44	-3.828,60
3.000	-10.855,00	-2.955,04	539,17
3.500	-8.386,26	830,35	4.906,93
4.000	-5.917,53	4.615,75	9.274,70
4.500	-3.448,79	8.401,14	13.642,46
5.000	-980,05	12.186,54	18.010,22

Fonte: Elaboração do autor

## APÊNDICE XXII

Tabelas de redução total no custo de operação e retorno financeiro (com e sem a venda de crédito de carbono), referentes ao cenário B.2, para o veículo com compactador de 10 m<sup>3</sup>.

**Tabela 232: Redução total no custo de operação para o cenário B.2**

<b>REDUÇÃO TOTAL NO CUSTO DE OPERAÇÃO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$\Delta CO_{\text{TV}_{15\%}}$	$\Delta CO_{\text{TV}_{25\%}}$	$\Delta CO_{\text{TV}_{30\%}}$
0	0	0	0
500	2.398,40	3.677,55	4.243,32
1.000	4.796,80	7.355,09	8.486,65
1.500	7.195,20	11.032,64	12.729,97
2.000	9.593,60	14.710,19	16.973,29
2.500	11.992,00	18.387,73	21.216,61
3.000	14.390,40	22.065,28	25.459,94
3.500	16.788,80	25.742,82	29.703,26
4.000	19.187,20	29.420,37	33.946,58
4.500	21.585,60	33.097,92	38.189,90
5.000	23.984,00	36.775,46	42.433,23

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 233: Retorno financeiro para o cenário B.2**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{\text{PB}_{15\%}}$	$R_{\text{PB}_{25\%}}$	$R_{\text{PB}_{30\%}}$
0	-25.667,41	-25.667,41	-25.667,41
500	-23.241,94	-21.948,35	-21.376,19
1.000	-20.816,47	-18.229,29	-17.084,97
1.500	-18.390,99	-14.510,23	-12.793,74
2.000	-15.965,52	-10.791,17	-8.502,52
2.500	-13.540,04	-7.072,11	-4.211,29
3.000	-11.114,57	-3.353,05	79,93
3.500	-8.689,09	366,01	4.371,15
4.000	-6.263,62	4.085,07	8.662,38
4.500	-3.838,14	7.804,13	12.953,60
5.000	-1.412,67	11.523,19	17.244,82

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 234: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 8,46</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-25.667,41	-25.667,41	-25.667,41
500	-23.241,94	-21.948,35	-21.376,19
1.000	-20.816,47	-18.229,29	-17.084,97
1.500	-18.390,99	-14.510,23	-12.793,74
2.000	-15.965,52	-10.791,17	-8.502,52
2.500	-13.540,04	-7.072,11	-4.211,29
3.000	-11.114,57	-3.353,05	79,93
3.500	-8.689,09	366,01	4.371,15
4.000	-6.263,62	4.085,07	8.662,38
4.500	-3.838,14	7.804,13	12.953,60
5.000	-1.412,67	11.523,19	17.244,82

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 235: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 51,90</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-25.667,41	-25.667,41	-25.667,41
500	-23.102,92	-21.735,19	-21.130,23
1.000	-20.538,42	-17.802,96	-16.593,04
1.500	-17.973,93	-13.870,73	-12.055,86
2.000	-15.409,43	-9.938,51	-7.518,68
2.500	-12.844,94	-6.006,28	-2.981,49
3.000	-10.280,44	-2.074,05	1.555,69
3.500	-7.715,94	1.858,17	6.092,88
4.000	-5.151,45	5.790,40	10.630,06
4.500	-2.586,95	9.722,63	15.167,25
5.000	-22,46	13.654,85	19.704,43

Fonte: Elaboração do autor

## APÊNDICE XXIII

Tabelas contendo o lucro total, a valor presente, da venda de crédito de carbono, variando-se o valor do crédito, sendo comuns aos cenários C.1 e C.2, do veículo com compactador de 10 m<sup>3</sup>.

**Tabela 236: Lucro total da venda de crédito de carbono ( $Z_c = R\$ 8,46$ )**

<b>LUCRO TOTAL, A VALOR PRESENTE, DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO (<math>Z_c = R\\$ 8,46</math>)</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$LT_{VP_{C15\%}}$	$LT_{VP_{C25\%}}$	$LT_{VP_{C30\%}}$
0	0	0	0
500	21,00	32,20	37,15
1.000	42,00	64,40	74,30
1.500	63,00	96,60	111,46
2.000	84,00	128,79	148,61
2.500	105,00	160,99	185,76
3.000	125,99	193,19	222,91
3.500	146,99	225,39	260,07
4.000	167,99	257,59	297,22
4.500	188,99	289,79	334,37
5.000	209,99	321,99	371,52

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 237: Lucro total da venda de crédito de carbono ( $Z_c = R\$ 51,90$ )**

<b>LUCRO TOTAL, A VALOR PRESENTE, DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO (<math>Z_c = R\\$ 51,90</math>)</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$LT_{VP_{C15\%}}$	$LT_{VP_{C25\%}}$	$LT_{VP_{C30\%}}$
0	0	0	0
500	128,82	197,53	227,92
1.000	257,65	395,06	455,84
1.500	386,47	592,59	683,76
2.000	515,30	790,12	911,68
2.500	644,12	987,66	1.139,60
3.000	772,95	1.185,19	1.367,52
3.500	901,77	1.382,72	1.595,44
4.000	1.030,60	1.580,25	1.823,36
4.500	1.159,42	1.777,78	2.051,28
5.000	1.288,25	1.975,31	2.279,20

Fonte: Elaboração do autor

## APÊNDICE XXIV

Tabelas de redução total no custo de operação e retorno financeiro (com e sem a venda de crédito de carbono), referentes ao cenário C.1, para o veículo com compactador de 10 m<sup>3</sup>.

**Tabela 238: Redução total no custo de operação para o cenário C.1**

<b>REDUÇÃO TOTAL NO CUSTO DE OPERAÇÃO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$\Delta\text{CO}_{\text{TV}_{15\%}}$	$\Delta\text{CO}_{\text{TV}_{25\%}}$	$\Delta\text{CO}_{\text{TV}_{30\%}}$
0	0	0	0
500	1.763,85	2.704,58	3.120,67
1.000	3.527,71	5.409,15	6.241,33
1.500	5.291,56	8.113,73	9.362,00
2.000	7.055,42	10.818,31	12.482,66
2.500	8.819,27	13.522,89	15.603,33
3.000	10.583,13	16.227,46	18.724,00
3.500	12.346,98	18.932,04	21.844,66
4.000	14.110,84	21.636,62	24.965,33
4.500	15.874,69	24.341,20	28.086,00
5.000	17.638,55	27.045,77	31.206,66

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 239: Retorno financeiro para o cenário C.1**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{\text{PB}_{15\%}}$	$R_{\text{PB}_{25\%}}$	$R_{\text{PB}_{30\%}}$
0	-26.228,04	-26.228,04	-26.228,04
500	-24.443,19	-23.491,26	-23.070,22
1.000	-22.658,33	-20.754,49	-19.912,40
1.500	-20.873,48	-18.017,71	-16.754,58
2.000	-19.088,62	-15.280,94	-13.596,77
2.500	-17.303,77	-12.544,16	-10.438,95
3.000	-15.518,92	-9.807,38	-7.281,13
3.500	-13.734,06	-7.070,61	-4.123,31
4.000	-11.949,21	-4.333,83	-965,49
4.500	-10.164,35	-1.597,06	2.192,33
5.000	-8.379,50	1.139,72	5.350,14

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 240: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 8,46</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-26.228,04	-26.228,04	-26.228,04
500	-24.443,19	-23.491,26	-23.070,22
1.000	-22.658,33	-20.754,49	-19.912,40
1.500	-20.873,48	-18.017,71	-16.754,58
2.000	-19.088,62	-15.280,94	-13.596,77
2.500	-17.303,77	-12.544,16	-10.438,95
3.000	-15.518,92	-9.807,38	-7.281,13
3.500	-13.734,06	-7.070,61	-4.123,31
4.000	-11.949,21	-4.333,83	-965,49
4.500	-10.164,35	-1.597,06	2.192,33
5.000	-8.379,50	1.139,72	5.350,14

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 241: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 51,90</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-26.228,04	-26.228,04	-26.228,04
500	-24.335,36	-23.325,93	-22.879,45
1.000	-22.442,68	-20.423,82	-19.530,87
1.500	-20.550,00	-17.521,71	-16.182,28
2.000	-18.657,32	-14.619,61	-12.833,69
2.500	-16.764,64	-11.717,50	-9.485,11
3.000	-14.871,96	-8.815,39	-6.136,52
3.500	-12.979,28	-5.913,28	-2.787,93
4.000	-11.086,60	-3.011,17	560,65
4.500	-9.193,93	-109,06	3.909,24
5.000	-7.301,25	2.793,04	7.257,83

Fonte: Elaboração do autor

## APÊNDICE XXV

Tabelas de redução total no custo de operação e retorno financeiro (com e sem a venda de crédito de carbono), referentes ao cenário C.2, para o veículo com compactador de 10 m<sup>3</sup>.

**Tabela 242: Redução total no custo de operação para o cenário C.2**

<b>REDUÇÃO TOTAL NO CUSTO DE OPERAÇÃO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$\Delta\text{CO}_{\text{TV}_{15\%}}$	$\Delta\text{CO}_{\text{TV}_{25\%}}$	$\Delta\text{CO}_{\text{TV}_{30\%}}$
0	0	0	0
500	1.812,67	2.779,43	3.207,03
1.000	3.625,34	5.558,86	6.414,07
1.500	5.438,01	8.338,29	9.621,10
2.000	7.250,69	11.117,72	12.828,14
2.500	9.063,36	13.897,15	16.035,17
3.000	10.876,03	16.676,58	19.242,20
3.500	12.688,70	19.456,01	22.449,24
4.000	14.501,37	22.235,44	25.656,27
4.500	16.314,04	25.014,87	28.863,31
5.000	18.126,71	27.794,30	32.070,34

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 243: Retorno financeiro para o cenário C.2**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{\text{PB}_{15\%}}$	$R_{\text{PB}_{25\%}}$	$R_{\text{PB}_{30\%}}$
0	-26.228,04	-26.228,04	-26.228,04
500	-24.394,37	-23.416,41	-22.983,85
1.000	-22.560,70	-20.604,78	-19.739,67
1.500	-20.727,03	-17.793,16	-16.495,48
2.000	-18.893,36	-14.981,53	-13.251,29
2.500	-17.059,69	-12.169,90	-10.007,11
3.000	-15.226,02	-9.358,27	-6.762,92
3.500	-13.392,35	-6.546,64	-3.518,74
4.000	-11.558,68	-3.735,01	-274,55
4.500	-9.725,00	-923,39	2.969,64
5.000	-7.891,33	1.888,24	6.213,82

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 244: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 8,46</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-26.228,04	-26.228,04	-26.228,04
500	-24.394,37	-23.416,41	-22.983,85
1.000	-22.560,70	-20.604,78	-19.739,67
1.500	-20.727,03	-17.793,16	-16.495,48
2.000	-18.893,36	-14.981,53	-13.251,29
2.500	-17.059,69	-12.169,90	-10.007,11
3.000	-15.226,02	-9.358,27	-6.762,92
3.500	-13.392,35	-6.546,64	-3.518,74
4.000	-11.558,68	-3.735,01	-274,55
4.500	-9.725,00	-923,39	2.969,64
5.000	-7.891,33	1.888,24	6.213,82

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 245: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 51,90</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-26.228,04	-26.228,04	-26.228,04
500	-24.286,54	-23.251,08	-22.793,09
1.000	-22.345,05	-20.274,12	-19.358,13
1.500	-20.403,55	-17.297,16	-15.923,18
2.000	-18.462,06	-14.320,20	-12.488,22
2.500	-16.520,56	-11.343,24	-9.053,27
3.000	-14.579,06	-8.366,28	-5.618,31
3.500	-12.637,57	-5.389,32	-2.183,36
4.000	-10.696,07	-2.412,36	1.251,60
4.500	-8.754,58	564,61	4.686,55
5.000	-6.813,08	3.541,57	8.121,51

Fonte: Elaboração do autor

## APÊNDICE XXVI

Tabelas contendo o lucro total, a valor presente, da venda de crédito de carbono, variando-se o valor do crédito, sendo comuns aos cenários D.1 e D.2, do veículo com compactador de 10 m<sup>3</sup>.

**Tabela 246: Lucro total da venda de crédito de carbono ( $Z_c = R\$ 8,46$ )**

<b>LUCRO TOTAL, A VALOR PRESENTE, DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO (<math>Z_c = R\\$ 8,46</math>)</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$LT_{VP_{C15\%}}$	$LT_{VP_{C25\%}}$	$LT_{VP_{C30\%}}$
0	0	0	0
500	14,48	22,21	25,62
1.000	28,97	44,42	51,25
1.500	43,45	66,62	76,87
2.000	57,93	88,83	102,50
2.500	72,42	111,04	128,12
3.000	86,90	133,25	153,75
3.500	101,38	155,45	179,37
4.000	115,87	177,66	204,99
4.500	130,35	199,87	230,62
5.000	144,83	222,08	256,24

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 247: Lucro total da venda de crédito de carbono ( $Z_c = R\$ 51,90$ )**

<b>LUCRO TOTAL, A VALOR PRESENTE, DA VENDA DE CRÉDITO DE CARBONO (<math>Z_c = R\\$ 51,90</math>)</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$LT_{VP_{C15\%}}$	$LT_{VP_{C25\%}}$	$LT_{VP_{C30\%}}$
0	0	0	0
500	88,85	136,24	157,20
1.000	177,70	272,48	314,40
1.500	266,55	408,72	471,59
2.000	355,40	544,95	628,79
2.500	444,26	681,19	785,99
3.000	533,11	817,43	943,19
3.500	621,96	953,67	1.100,39
4.000	710,81	1.089,91	1.257,59
4.500	799,66	1.226,15	1.414,78
5.000	888,51	1.362,38	1.571,98

Fonte: Elaboração do autor

## APÊNDICE XXVII

Tabelas de redução total no custo de operação e retorno financeiro (com e sem a venda de crédito de carbono), referentes ao cenário D.1, para o veículo com compactador de 10 m<sup>3</sup>.

**Tabela 248: Redução total no custo de operação para o cenário D.1**

<b>REDUÇÃO TOTAL NO CUSTO DE OPERAÇÃO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$\Delta CO_{\text{TV}P_{15\%}}$	$\Delta CO_{\text{TV}P_{25\%}}$	$\Delta CO_{\text{TV}P_{30\%}}$
0	0	0	0
500	1.201,20	1.841,84	2.125,20
1.000	2.402,40	3.683,68	4.250,40
1.500	3.603,60	5.525,52	6.375,60
2.000	4.804,80	7.367,35	8.500,79
2.500	6.006,00	9.209,19	10.625,99
3.000	7.207,19	11.051,03	12.751,19
3.500	8.408,39	12.892,87	14.876,39
4.000	9.609,59	14.734,71	17.001,59
4.500	10.810,79	16.576,55	19.126,79
5.000	12.011,99	18.418,39	21.251,98

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 249: Retorno financeiro para o cenário D.1**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{\text{PB}15\%}$	$R_{\text{PB}25\%}$	$R_{\text{PB}30\%}$
0	-26.803,42	-26.803,42	-26.803,42
500	-25.587,74	-24.939,37	-24.652,60
1.000	-24.372,05	-23.075,33	-22.501,77
1.500	-23.156,37	-21.211,28	-20.350,95
2.000	-21.940,69	-19.347,23	-18.200,13
2.500	-20.725,01	-17.483,19	-16.049,31
3.000	-19.509,32	-15.619,14	-13.898,48
3.500	-18.293,64	-13.755,09	-11.747,66
4.000	-17.077,96	-11.891,05	-9.596,84
4.500	-15.862,28	-10.027,00	-7.446,02
5.000	-14.646,60	-8.162,96	-5.295,19

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 250: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 8,46</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-26.803,42	-26.803,42	-26.803,42
500	-25.587,74	-24.939,37	-24.652,60
1.000	-24.372,05	-23.075,33	-22.501,77
1.500	-23.156,37	-21.211,28	-20.350,95
2.000	-21.940,69	-19.347,23	-18.200,13
2.500	-20.725,01	-17.483,19	-16.049,31
3.000	-19.509,32	-15.619,14	-13.898,48
3.500	-18.293,64	-13.755,09	-11.747,66
4.000	-17.077,96	-11.891,05	-9.596,84
4.500	-15.862,28	-10.027,00	-7.446,02
5.000	-14.646,60	-8.162,96	-5.295,19

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 251: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 51,90</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-26.803,42	-26.803,42	-26.803,42
500	-25.513,37	-24.825,34	-24.521,02
1.000	-24.223,32	-22.847,26	-22.238,63
1.500	-22.933,27	-20.869,19	-19.956,23
2.000	-21.643,22	-18.891,11	-17.673,83
2.500	-20.353,17	-16.913,03	-15.391,44
3.000	-19.063,12	-14.934,96	-13.109,04
3.500	-17.773,07	-12.956,88	-10.826,64
4.000	-16.483,02	-10.978,80	-8.544,25
4.500	-15.192,97	-9.000,73	-6.261,85
5.000	-13.902,92	-7.022,65	-3.979,45

Fonte: Elaboração do autor

## APÊNDICE XXVIII

Tabelas de redução total no custo de operação e retorno financeiro (com e sem a venda de crédito de carbono), referentes ao cenário D.2, para o veículo com compactador de 10 m<sup>3</sup>.

**Tabela 252: Redução total no custo de operação para o cenário D.2**

<b>REDUÇÃO TOTAL NO CUSTO DE OPERAÇÃO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$\Delta\text{CO}_{\text{TVP}_{15\%}}$	$\Delta\text{CO}_{\text{TVP}_{25\%}}$	$\Delta\text{CO}_{\text{TVP}_{30\%}}$
0	0	0	0
500	1.213,56	1.867,28	2.154,55
1.000	2.427,11	3.734,56	4.309,11
1.500	3.640,67	5.601,84	6.463,66
2.000	4.854,23	7.469,12	8.618,21
2.500	6.067,79	9.336,40	10.772,77
3.000	7.281,34	11.203,68	12.927,32
3.500	8.494,90	13.070,96	15.081,87
4.000	9.708,46	14.938,24	17.236,43
4.500	10.922,01	16.805,52	19.390,98
5.000	12.135,57	18.672,80	21.545,53

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 253: Retorno financeiro para o cenário D.2**

<b>RETORNO FINANCEIRO</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{\text{PB}_{15\%}}$	$R_{\text{PB}_{25\%}}$	$R_{\text{PB}_{30\%}}$
0	-26.803,42	-26.803,42	-26.803,42
500	-25.575,38	-24.913,93	-24.623,24
1.000	-24.347,34	-23.024,44	-22.443,06
1.500	-23.119,30	-21.134,96	-20.262,89
2.000	-21.891,26	-19.245,47	-18.082,71
2.500	-20.663,22	-17.355,98	-15.902,53
3.000	-19.435,18	-15.466,50	-13.722,35
3.500	-18.207,14	-13.577,01	-11.542,18
4.000	-16.979,10	-11.687,52	-9.362,00
4.500	-15.751,06	-9.798,03	-7.181,82
5.000	-14.523,01	-7.908,55	-5.001,64

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 254: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 8,46**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 8,46</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-26.803,42	-26.803,42	-26.803,42
500	-25.575,38	-24.913,93	-24.623,24
1.000	-24.347,34	-23.024,44	-22.443,06
1.500	-23.119,30	-21.134,96	-20.262,89
2.000	-21.891,26	-19.245,47	-18.082,71
2.500	-20.663,22	-17.355,98	-15.902,53
3.000	-19.435,18	-15.466,50	-13.722,35
3.500	-18.207,14	-13.577,01	-11.542,18
4.000	-16.979,10	-11.687,52	-9.362,00
4.500	-15.751,06	-9.798,03	-7.181,82
5.000	-14.523,01	-7.908,55	-5.001,64

Fonte: Elaboração do autor

**Tabela 255: Retorno financeiro considerando a venda do crédito de carbono a R\$ 51,90**

<b>RETORNO FINANCEIRO CONSIDERANDO O CRÉDITO DE CARBONO A R\$ 51,90</b>			
$d_{\text{mensal}}$ (km)	$R_{PB_{15\%}}$	$R_{PB_{25\%}}$	$R_{PB_{30\%}}$
0	-26.803,42	-26.803,42	-26.803,42
500	-25.501,01	-24.799,90	-24.491,67
1.000	-24.198,60	-22.796,38	-22.179,92
1.500	-22.896,19	-20.792,86	-19.868,16
2.000	-21.593,79	-18.789,35	-17.556,41
2.500	-20.291,38	-16.785,83	-15.244,66
3.000	-18.988,97	-14.782,31	-12.932,91
3.500	-17.686,56	-12.778,79	-10.621,16
4.000	-16.384,15	-10.775,27	-8.309,41
4.500	-15.081,74	-8.771,76	-5.997,65
5.000	-13.779,34	-6.768,24	-3.685,90

Fonte: Elaboração do autor