



## ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROCESSO DE PIRÓLISE PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: ESTUDO DE CASO APLICADO A UMA CIDADE DE MÉDIO PORTE

Deise Ieda Caibre<sup>1</sup>

Adalberto Pandolfo<sup>1</sup>

Ritielli Berticelli<sup>1</sup>

Eduardo Madeira Brum<sup>1</sup>

Aline Pimentel Gomes<sup>1</sup>

### RESUMO

Encontrar novas soluções para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos é um desafio da atual sociedade. O processo de pirólise rápida surge como alternativa, além de gerar subprodutos de valor comercial. O objetivo geral deste trabalho consiste em avaliar a viabilidade econômica do processo de pirólise para tratamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) aplicado para uma cidade de médio porte. Para atender ao objetivo geral foram determinados objetivos específicos que compreenderam o estudo de alternativas locais e os métodos de análise de investimentos na condição de certeza, incerteza e análise de risco. O processo de pirólise para RSU não se mostrou atrativo devido aos altos custos operacionais e aos impostos sobre a venda de energia elétrica e fertilizante. O Valor Presente Líquido - VPL resultante do fluxo de caixa é negativo e não há retorno do capital investido, tanto para o empreendimento como para o fluxo de caixa do investidor. Nesse caso, a pesquisa possibilitou o estudo de vários cenários para viabilidade econômica do projeto através da análise de sensibilidade. Considerando a possibilidade da integração com mais municípios para complementar o volume de matéria prima, a redução do custo do transporte dos RSU até a usina de pirólise e o aumento do preço de venda da energia elétrica, ou ainda a isenção de impostos, o projeto é uma alternativa rentável, ao passo que além dos benefícios econômicos, a planta de pirólise possibilita a eliminação do passivo ambiental gerado pelos aterros sanitários.

**Palavras-chave:** Análise de Investimento; Sustentabilidade; Gestão de Resíduos Sólidos.

### ABSTRACT

**Analysis of the economic viability of the pyrolysis process for treating municipal solid waste: a case study applied to a medium-sized city.** Find new solutions for the treatment of municipal solid waste is a challenge of modern society. The fast pyrolysis process arises as an alternative,

---

<sup>1</sup> PPG em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Passo Fundo – UPF, Passo Fundo, RS, Brasil. E-mail para correspondência: [deise@h2oambiental.com](mailto:deise@h2oambiental.com)

besides generating by-products of commercial value. The general objective of this work is to evaluate the economic viability of the pyrolysis process for treatment of municipal solid waste (MSW) applied to a medium-sized town. To meet the overall objective were determined specific objectives who understood the locational alternatives study and methods of investment analysis provided certainty, uncertainty, and risk analysis. The pyrolysis process for MSW was attractive due to high operating costs and taxes on the sale of electricity and fertilizer. The Net present value-NPV resulting cash flow is negative and there is no return on capital invested, for both the enterprise and the investor's cash flow. In this case, the research has enabled the study of various scenarios for economic viability of the project through sensitivity analysis. Considering the possibility of integration with more municipalities to supplement the volume of raw material, reducing the cost of transport of MSW pyrolysis plant and even the increase in the price of electrical energy for sale, or tax exemption, the project is a cost effective alternative, while in addition to the economic benefits, the pyrolysis plant enables the Elimination of environmental liabilities generated by landfills.

**Keywords:** Investment Analysis; Sustainability; Solid Waste Management.

## INTRODUÇÃO

O crescimento da população nos últimos anos teve como consequência o aumento da geração de resíduos, o que justifica a preocupação cada vez maior com a preservação do meio ambiente, com a saúde pública e a qualidade de vida da população. Encontrar novas soluções e alternativas é um desafio da atual sociedade podendo ser de grande importância para a gestão dos resíduos sólidos e, conseqüentemente, para a sustentabilidade.

Alternativas inovadoras têm sido propostas para aproveitamento do potencial energético dos RSU com aplicação do processo de pirólise combinado com o ciclo de geração elétrica (Baggio *et al.*, 2008). Esses estudos fundamentam que com a aplicação no tratamento de resíduos sólidos, o processo pode permitir a geração de menor quantidade de poluentes, além da formação de subprodutos reutilizáveis com teor energético significativo ou com algum valor econômico agregado.

Para Morrison e Boyd (1993), a decomposição de um composto por ação exclusiva do calor denomina-se pirólise. A pirólise pode ser descrita como a decomposição térmica direta dos componentes orgânicos de uma biomassa numa faixa de temperatura de 300 °C – 1000 °C, em atmosfera inerte para produzir uma matriz de produtos úteis como: líquidos, sólidos e gases combustíveis (Bahng, *et al.* 2009).

Os processos pirolíticos mais pesquisados são aqueles destinados à obtenção de combustível derivado de resíduo sólido municipal (RDF), como os revisados por Lima (1991), e por Caputo e Pelagagge (2003). Tecnologias que utilizam o processo de pirólise rápida podem produzir combustíveis líquidos para serem utilizados em substituição aos óleos combustíveis usados no

aquecimento e na geração de energia elétrica (Wang *et al.*, 2011), como se pode comprovar nos estudos desenvolvidos por Qi e colaboradores (2007).

Alguns autores referem o uso da pirólise no tratamento de resíduos sólidos contendo matéria orgânica (Bento, 2004), resíduos plásticos (Gonçalves, 2007), resíduos perigosos (Giaretta, 2007), biomassa (Mesa *et al.*, 2003), pneus (Garcia *et al.*, 2007) e no caso dos resíduos sólidos urbanos, Martins *et al.* (2007) consideram a pirólise como alternativa promissora de tratamento, em virtude das enormes quantidades de resíduos sólidos urbanos gerados mundialmente e do indesejável impacto ambiental consequente.

Os resíduos sólidos urbanos consistem principalmente de resíduos domésticos e comerciais, que são administrados por uma autoridade local. Esses resíduos contêm uma grande proporção de materiais, que podem ser usados para a recuperação de energia ou para a produção de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos (Buah *et al.*, 2007).

O objetivo geral do presente estudo é verificar a viabilidade econômica de implantação do processo de pirólise para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos de uma cidade de médio porte, analisando os impactos da aplicação dessa tecnologia para a sociedade e o meio ambiente, bem como avaliar as formas de aproveitamento dos subprodutos do processo. Este trabalho contribui com um estudo de viabilidade econômica para implantação de um sistema de tratamento de RSU dentro dos princípios de sustentabilidade ambiental, econômica e social, preservando o ambiente natural e construído.

## MATERIAL E MÉTODOS

As informações apresentadas nesta pesquisa foram coletadas em fontes primárias e fez-se uso também de fontes secundárias, através de consultas a estudos publicados, devido à dificuldade em obter determinadas informações técnicas sobre o processo da pirólise. Contatos diretos com pessoas que trabalham ou estudam sobre o tema, análises documentais e contatos com empresas no exterior foram os principais procedimentos de coleta de dados utilizados. O desenvolvimento foi realizado a partir de um estudo estruturado em quatro etapas.

### **Etapa 1: Estudo de Alternativas Locacionais para Implantação da Planta de Pirólise**

A avaliação das alternativas locacionais foi realizada numa primeira etapa em escritório através do estudo da cartografia existente das áreas do município (imagens de satélite, cartas do exército e fotografias aéreas), e posteriormente através da conferência das áreas selecionadas,

considerando o Plano Diretor e com o apoio dos técnicos da prefeitura municipal. Foram selecionadas cinco áreas potenciais para essa etapa. Após uma conferência em campo, foram selecionadas duas áreas potenciais para o projeto, que exigiram um estudo mais detalhado, através de um diagnóstico dos meios físico, biótico e antrópico. Os critérios locacionais aplicados foram, por exemplo, distâncias dos cursos de água e centros urbanos; áreas próximas a aeroportos; minimização de custos e impactos ambientais; existência de vegetação nativa; distância de rodovias, entre outros. Para tanto, foi utilizado o método dos orçamentos comparados, através dos fatores locacionais, que avaliou entradas e saídas do sistema, sendo matéria prima e subprodutos; consumo de insumos para o processo; os fatores legais e os ambientais dos locais selecionados.

## **Etapa 2: Análise da Viabilidade Econômica na Condição de Certeza**

Nesta fase foram relacionados em um fluxo de caixa os investimentos em equipamentos e os gastos para construção e instalação da pirólise para a destinação final dos resíduos sólidos urbanos; o custo dos materiais, equipamentos e mão-de-obra utilizados na operação; e as receitas geradas com a venda dos subprodutos, para a determinação quantitativa dos parâmetros avaliados na análise de viabilidade econômica.

Para isto, realizou-se uma pesquisa de mercado, visando compilar dados de gastos para com materiais e equipamentos utilizados na construção, mão-de-obra especializada e serviços diversos para implantação da planta pirólise. Também foram realizadas consultas a empresas similares e a trabalhos desenvolvidos sobre o tema, com o intuito de se obter um orçamento e estabelecer um levantamento para posterior avaliação econômica.

Para a análise de viabilidade foram avaliados os seguintes parâmetros:

- 1) investimento inicial: contemplando os custos com projetos, construção civil, instalações e equipamentos;
- 2) custos e despesas: compreendidos pelos gastos com materiais de escritório e limpeza, contas de água, luz e telefone, pessoal, veículos, equipamentos gerais e despesas legais;
- 3) depreciação anual dos equipamentos e construções;
- 4) custos de manutenção: gastos com manutenções preventivas e corretivas dos equipamentos e veículos;
- 5) impostos e tributos aplicados a este tipo de empreendimento;
- 6) preço de venda: determinação do preço de venda no mercado dos subprodutos gerados.

O investimento inicial para o projeto foi determinado através do dimensionamento do equipamento para atender a demanda de geração de RSU do município, aproximadamente 47 toneladas/dia. Devido à dificuldade em obter-se o gasto real dos equipamentos, a comparação com outros equipamentos semelhantes foi utilizada.

Após o levantamento das informações dos parâmetros de investimento inicial, custos e despesas, depreciação, impostos e o preço de venda, calculou-se a receita bruta do empreendimento. Para calcular a receita da planta de pirólise, estimou-se o preço de venda da energia elétrica e do fertilizante. Para estimar o preço da energia elétrica que poderia ser vendida utilizou-se como base a bolsa eletrônica da venda de energia da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Dessa forma, adotou-se o preço médio durante os meses de janeiro a junho de 2013. O levantamento do preço de venda do bio-carvão foi feito através de consulta a empresas do ramo da produção de bio-fertilizante.

Na tabela 1 são apresentadas as fontes dos dados utilizados no presente estudo.

Tabela 1. Fonte de dados adotados.

Item	Descrição	Fonte
Investimento inicial	Reator pirólise com capacidade de 47 t	Maim Engineering (2013)
	Unidade de segregação de resíduos: Mesa de triagem, esteiras; Projetos e licenças	Orçamento com Empresas e Órgãos locais
	Depreciação	Receita Federal (1998)
	Matéria Prima	Dados da Prefeitura Municipal de Concórdia
Custos operacionais	Insumos e outras despesas	Carta <i>et al.</i> (2012)
	Manutenção	Carta <i>et al.</i> (2012)
	Mão-de-obra e encargos sociais	SELUR (2013)
	Energia elétrica	CCEE (2013)
	Impostos	Receita Federal (2013)

Após o levantamento destas informações, elaborou-se um fluxo de caixa para o empreendimento. Para a determinação do fluxo de caixa financeiro utilizou-se uma planilha Excel, onde se relacionou a receita bruta para cada ano da vida econômica do projeto e deduziu-se o valor dos impostos, obtendo-se a receita líquida. Posteriormente, subtraíram-se os custos de produção e a depreciação, obtendo-se o lucro líquido tributável, e após a dedução do imposto de renda e da contribuição social sobre o lucro líquido, obteve-se o lucro real do empreendimento.

Baseado no investimento inicial, no tempo de vida útil e no lucro líquido da planta de pirólise, calculou-se o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Tempo de Recuperação do Investimento (*payback*). A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) considerada foi estimada como sendo o valor anual possível de ser obtido atualmente no Brasil como

rentabilidade de aplicações de renda fixa. Do ponto de vista matemático, o VPL e do VA foi definido aplicando a Equação 1 e a equação 2 (Grant, 1982; Hess *et al.*, 1992).

$$VPL = I + \sum_{t=1}^T \frac{(Rt-Ct)}{(1+i)^t} \quad (1)$$

$$VA = VPL * \frac{(1+i)^t - 1}{i * (1+i)^t} \quad (2)$$

Sendo:

T = Período de vida útil;

Ct = Custos no tempo t;

t = tempo, período do fluxo de caixa;

I = Investimento inicial;

Rt = Receitas no tempo t;

i = Taxa de juros

O montante para o capital de giro foi considerado para suprir as eventuais faltas de recursos financeiros durante a diferença temporal entre pagamentos de insumos produtivos e recebimento de receitas de ativos.

O valor residual do investimento inicial foi determinado atualizando-se o investimento inicial durante a vida econômica do empreendimento arbitrando-se uma projeção de inflação média de 2% a.a. em todo este período. Utilizou-se como previsão do valor residual 30% do investimento inicial corrigido pelo índice de inflação.

### **Etapa 3: Análise da Viabilidade Econômica Utilizando a Análise de Sensibilidade**

Na análise de sensibilidade buscou-se avaliar o impacto econômico da variação dos parâmetros utilizados na análise da pirólise, tais como: investimento inicial, custos, despesas e receitas. A análise de sensibilidade serviu para conhecer-se qual o cenário que tornaria o empreendimento viável economicamente.

Nesta pesquisa, a análise de sensibilidade apresenta particularmente o impacto dos pesos atribuídos aos atributos das soluções em análise, e também mostra como uma eventual variação do peso pode influenciar a mudança na decisão. Dessa maneira foram estudados sete cenários que consideram a variação da quantidade da matéria prima, o preço de venda da energia elétrica, a redução do custo operacional e a isenção de impostos sobre a venda dos subprodutos, para cada cenário estudado foi elaborado um fluxo de caixa financeiro e calculado os indicadores de viabilidade econômica.

#### **Etapa 4: Análise de Risco – Método de Simulação Monte Carlo**

Foi utilizado o Método de Simulação Monte Carlo tendo como base o Fluxo de Caixa resultante dos estudos para a determinação dos parâmetros na condição de certeza para a pirólise. A simulação serviu para observar a resposta do investimento em função de possibilidades de mudanças ocorrerem no mercado, como por exemplo, o aumento ou redução do preço de matérias-primas, aumento ou redução dos gastos com equipamentos para a implantação do empreendimento. Para cada variável que influencia o diagrama de fluxos de caixa do investimento, foi estimado um intervalo de variação. Estabeleceu-se então, uma distribuição de probabilidades correspondente e esta foi transformada em uma distribuição de probabilidades acumulada.

Foram selecionados, de forma aleatória, valores para cada variável, de acordo com as suas probabilidades de ocorrência. Após esta seleção calculou-se os indicadores de viabilidade econômica do projeto, como o valor presente líquido e a taxa interna de retorno, para cada combinação de valores obtida. As variáveis utilizadas para o cálculo dos indicadores de viabilidade econômica foram: gastos como investimento inicial, o lucro líquido anual, a vida econômica do projeto e o valor residual do empreendimento.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Avaliação das Alternativas Locacionais**

A busca por projetos menos impactantes e a preconcepção de alternativas locacionais, evidencia-se a destacada importância dos estudos de alternativas locacionais, nos quais os impactos de um empreendimento devem, necessariamente, ser analisados de forma comparativa segundo o binômio caracterizado pela tipologia deste empreendimento e pela capacidade de suporte do território no qual se pretende instalá-lo (Noble, 2000; Souza, 2000; Sánchez, 2008). A seleção de localidades é conduzida com a finalidade de identificar possíveis sítios para a instalação do projeto proposto e comparar as aptidões relativas a cada opção com base na proteção ambiental, segurança técnica, interesses sociais e custos (Furlanetto, 2012).

Para a melhor escolha da localização de atividades econômicas devem ser considerados, além dos componentes físicos e biológicos de um espaço geográfico, os aspectos tecnológicos, econômico-financeiro e sócio-culturais, formando um conjunto de múltiplos fatores, que quando associados irão estabelecer as alternativas locacionais mais apropriadas para a instalação de empreendimentos (Souza *et al.*, 2007 e Bryan *et al.*, 2011).



Nesse sentido, através de parâmetros técnicos a área potencial para receber a implantação da planta de pirólise foi determinada. A área definida a partir da aplicação dos critérios está afastada das aglomerações urbanas, possui fácil acesso, pouca distância do centro da cidade (aproximadamente 8 km) e dispõe de redes de infraestrutura para a instalação da planta industrial.

### **Análise Econômica na Condição de Certeza**

O gasto com investimento e o custo operacional para plantas de pirólise varia por tonelada de RSU processada, dependendo da dimensão da instalação e dos produtos desejados na saída do sistema. A empresa italiana *Maim Engineering* (Maim Engineering, 2013) oferece plantas de pirólise em módulos descentralizados com capacidade de 47 toneladas por dia cada módulo, ocupando uma área de 7.500,00 m<sup>2</sup>. Nesta pesquisa adotou-se a concepção da planta de pirólise desenvolvida pela empresa italiana *Maim Engineering*, estabelecendo-se este estudo de viabilidade econômica para uma planta com capacidade para 47 toneladas de resíduos orgânicos por dia.

O custo total da unidade foi dividido em duas partes distintas: a segregação de resíduos, contemplando uma mesa de triagem com esteiras, sendo a operação de separação dos resíduos realizada manualmente; e o reator de pirólise, que é uma espécie de forno onde o resíduo é aquecido até temperatura de operação e transformado quimicamente em subprodutos, incluindo o sistema de geração de vapor e energia, onde o gás e o bio-óleo que são liberados do reator de pirólise são transformados em energia elétrica. O gasto para aquisição e instalação do sistema de segregação de resíduos foi estimado em R\$ 111.000,00 através de levantamento de dados locais, e inclui uma mesa de triagem e esteiras.

Para Ringer *et al.* (2006) uma unidade de pirólise com capacidade para 47 toneladas por dia de biomassa tem um custo aproximado de U\$\$ 3.939.454,55. Dessa maneira, multiplicando-se pela taxa cambial de R\$ 1,99 teremos um custo aproximado de R\$ 7.839.514,55. Esse valor é equivalente ao de outros estudos e de pesquisas informais de mercado.

Uma planta de pirólise rápida para processamento de resíduos de pneus está sendo instalada na cidade de Cuiabá. O custo com investimento inicial para uma unidade com capacidade de 620 kg/h foi contabilizado em U\$\$ 1.000.000,00. Logo, considerou-se para este estudo, uma planta com capacidade de 2500 kg/h um custo de R\$ 8.024.193,55. Somando este valor com os gastos de importação, visto que não há empresas no Brasil que fornecem este tipo de equipamento, com os impostos e com os custos de implantação (projetos civis, execução da construção civil, projeto de licenciamento ambiental), o custo com investimento inicial para implantação da planta de pirólise será de R\$ 13.686.073,25, assim como demonstra a tabela 2.



Tabela 2. Custos de capital inicial para uma planta de pirólise de 47 toneladas.

<b>Ativos de Capital Inicial</b>	<b>Valor (R\$)</b>
Aquisição de terreno (7.500,00 m <sup>2</sup> )	0,00
Projetos de engenharia e licenças ambientais	238.809,77
Construção civil 2000 (m <sup>2</sup> )	1.400.000,00
Unidade de pirólise 47 t/dia	11.936.263,48
Unidade de segregação de resíduos	111.000,00
<b>Total (R\$)</b>	<b>13.686.073,25</b>

Os custos operacionais também foram considerados, o sistema tem custos de operação composto pelo custo da matéria prima, mão de obra, veículos, equipamentos gerais, despesas com insumos gerais (materiais de escritório e limpeza, contas de água, luz e telefone) e despesas legais. O custo da matéria-prima foi obtido através do Fundo Municipal de Meio Ambiente – FUMDEMA, órgão responsável pelo gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no município estudado. Em 2011, esse custo foi de R\$ 1.034.523,58. Este valor foi adotado como custo da matéria prima para este estudo, pois não há custo direto com aquisição de matéria prima; porém, a prefeitura continuaria com a responsabilidade pela coleta e destinação até a planta de pirólise.

O custo operacional parcial, considerando a matéria prima, o custo para coleta dos resíduos sólidos urbanos, custo com insumos e outras despesas da planta de pirólise, os custos de manutenção e custos de mão-de-obra e encargos sociais totaliza um montante de R\$ 3.204.816,68 ao ano, conforme tabela 3.

Tabela 3. Custos dos parâmetros operacionais para a planta de pirólise.

<b>Parâmetros Operacionais</b>	<b>Valor Anual (R\$)</b>
Matéria prima (RSU) coleta convencional	1.034.523,58
Insumos e outras despesas 6,5% capital	912.397,00
Manutenção 4,5% do capital	631.660,00
Custo com mão-de-obra para operação da planta e encargos sociais	626.236,10
<b>Total (R\$)</b>	<b>3.204.816,68</b>

Para o cálculo de depreciação tomou-se por base dados do Órgão específico do país, responsável pela administração dos tributos e pela política tributária brasileira, onde consta o prazo de vida útil para cada bem. Após determinar o custo unitário de um bem, faz-se a divisão do seu custo pela vida útil. De acordo com as características da maioria dos equipamentos do projeto, o prazo de vida útil para o cálculo anual da depreciação foi estimado em 10 anos. Já as edificações possuem uma vida útil de 25 anos. A tabela 4 apresenta os itens da planta e o prazo de vida útil de cada item.

Tabela 4. Depreciação dos itens que compõem a planta de pirólise.

Item	Custo Unitário (R\$)	Vida Útil (anos)	Depreciação Anual (R\$)
Equipamentos	12.047.263,00	10	1.204.726,30
Edificações	1.400.000,00	25	56.000,00

Dessa maneira, a planta de pirólise terá um custo anual com depreciação de R\$ 1.260.726,30 nos primeiros dez anos, a após o décimo ano, este custo será de R\$ 56.000,00, até o final da vida útil do projeto, considerado de 25 anos.

Para estimar o preço da energia elétrica que poderia ser vendida utilizou-se como base a bolsa eletrônica da venda de energia da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE, 2013). Durante o primeiro semestre de 2013, a energia foi vendida por um preço que oscilou entre R\$ 196,13/MWh a R\$ 413,95/MWh. Para este estudo adotou-se a média de janeiro a junho de 2013 de R\$ 285,55/MWh. O levantamento do preço de venda do bio-carvão foi obtido através de consulta a empresas do ramo da produção de bio-fertilizante, sendo o mesmo comercializado a R\$ 125,00 por tonelada.

Islam e Beg (2004) estudaram o líquido formado na pirólise de RSU e compararam com produtos derivados do petróleo. Seus resultados demonstraram que a pirólise de RSU tem grande potencial de ser uma fonte de combustível a base de hidrocarbonetos.

Com base na pesquisa de preço de venda dos subprodutos gerados pela planta de pirólise e os dados de produção de resíduos sólidos urbanos, realizou-se o cálculo da receita bruta para o sistema pesquisado. A tabela 5 apresenta o levantamento da receita bruta para o sistema de pirólise operando em sua capacidade máxima.

Tabela 5. Receita bruta com a venda dos subprodutos da pirólise de RSU.

Capacidade equipamento	Eficiência	Preço	Receita Bruta
47 t RSU /dia	1t RSU = 1 MW	285,55/MWh	4.428.880,50
5,64 t bio-carvão /dia	1t RSU = 120 Kg bio-carvão	125,00/t	246.750,00
<b>Total Receita Bruta (R\$)</b>			<b>4.675.630,50</b>

### Avaliação Econômica da Planta de Pirólise

Neste item foi analisado o fluxo financeiro do empreendimento no período de 25 anos para o sistema de pirólise para tratamento de RSU para o município. Para a determinação do fluxo financeiro relacionou-se a receita bruta para cada ano e deduziu-se o valor dos impostos e com as alíquotas, obteve-se a receita líquida. Posteriormente, subtraíram-se os custos de produção e a

depreciação, obtendo-se o lucro líquido tributável, e após a dedução do imposto de renda e da contribuição social sobre o lucro líquido, obtendo-se o lucro real do empreendimento.

Baseado no investimento inicial, no tempo de vida útil e no lucro líquido da planta de pirólise, calculou-se o VPL, a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Valor Anual Uniforme (VA). A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) considerada foi de 6,00%, estimada como sendo o valor máximo anual possível de ser obtido no Brasil calculado pela diferença entre a rentabilidade de aplicações de renda fixa e a taxa de inflação.

O montante para o capital de giro foi considerado para suprir as eventuais faltas de recursos financeiros durante a diferença temporal entre pagamentos de insumos produtivos e recebimento de receitas de ativos. Dessa forma, considerou-se que o empreendimento trabalhará 15 dias com dinheiro em caixa ao ano; e ainda financiamento das vendas para 30 dias e pagamento dos fornecedores à vista. Sendo assim, para a análise na condição de certeza o capital de giro foi estimado em R\$ 350.805,00.

O valor residual do investimento inicial foi determinado atualizando-se o investimento inicial durante a vida econômica do empreendimento (25 anos) arbitrando-se uma projeção de inflação média de 2% a.a. em todo este período. A atualização do investimento inicial foi determinada:  $(1 + 0,02)^{25} \times R\$ 14.036.878,00 = R\$ 23.020.479,92$ .

Utilizou-se como previsão do valor residual 30% do investimento inicial corrigido pelo índice de inflação de 2% a.a.:  $30\% \times R\$ 23.020.479,92 = R\$ 6.906.143,98$ . Dessa forma, o resultado da venda do ativo ao final de sua vida útil será de R\$ 6.906.143,98, equivalente a 30% do capital investido em equipamentos e construções. O quadro 1 apresenta o fluxo de caixa para a planta de pirólise de resíduos sólidos urbanos.

Quadro 1. Fluxo financeiro para planta de pirólise de RSU.

Fluxo Financeiro do Empreendimento								
Descrição	0	1	2	3	4	5	...	25
<b>Receita Bruta</b>		2.009.517	2.044.683	2.080.465	2.116.874	2.153.919	...	3.047.317
(-) Impostos Prop. s/ Vendas		427.022	434.495	442.099	449.836	457.708		647.555
<b>(=) Receita Líquida</b>		<b>1.582.495</b>	<b>1.610.188</b>	<b>1.638.367</b>	<b>1.667.038</b>	<b>1.696.211</b>		<b>2.399.762</b>
(-) Custo Variável de Produção		1.946.921	1.946.921	1.946.921	1.946.921	1.946.921		1.946.921
(-) Custo Fixo de Produção		1.257.896	1.257.896	1.257.896	1.257.896	1.257.896		1.257.896
<b>(=) Lucro Bruto</b>		<b>-1.622.322</b>	<b>-1.594.628</b>	<b>-1.566.450</b>	<b>-1.537.778</b>	<b>-1.508.605</b>		<b>-805.054</b>
(-) Despesas Gerais Variáveis		0	0	0	0	0		0
(-) Despesas Gerais Fixas		0	0	0	0	0		0
(-) Despesas Financeiras		0	0	0	0	0		0
<b>(=) Lucro Líquido antes do IR</b>		<b>-1.622.322</b>	<b>-1.594.628</b>	<b>-1.566.450</b>	<b>-1.537.778</b>	<b>-1.508.605</b>		<b>-805.054</b>
(-) Depreciação		1.260.726	1.260.726	1.260.726	1.260.726	1.260.726		56.000
<b>(=) Lucro Operacional</b>		<b>-2.883.048</b>	<b>-2.855.354</b>	<b>-2.827.176</b>	<b>-2.798.505</b>	<b>-2.769.332</b>		<b>-861.054</b>
(+) Resultado venda ativo		0	0	0	0	0		6.906.144
<b>(=) Lucro Tributável</b>		<b>-2.883.048</b>	<b>-2.855.354</b>	<b>-2.827.176</b>	<b>-2.798.505</b>	<b>-2.769.332</b>		<b>6.045.090</b>
IR/CSLL								1.450.822
<b>Lucro Líquido após o IR</b>		<b>-1.622.322</b>	<b>-1.594.628</b>	<b>-1.566.450</b>	<b>-1.537.778</b>	<b>-1.508.605</b>		<b>-2.255.875</b>
(-) Amortização		0	0	0	0	0		0
<b>(-) Investimentos</b>	<b>14.036.878</b>							
(+) Liberação Financiamento	0							
(+) Valor Residual								6.906.144
<b>Fluxo Caixa Empreendimento</b>	<b>-14.036.878</b>	<b>-1.622.322</b>	<b>-1.594.628</b>	<b>-1.566.450</b>	<b>-1.537.778</b>	<b>-1.508.605</b>		<b>4.650.269</b>
<b>Taxa Interna de Retorno =</b>	<b>#NÚM!</b>		<b>TMA</b>	<b>6,00%</b>				
<b>Valor Presente Líquido=</b>	<b>(R\$29.885.439,15)</b>		<b>IR/CSLL</b>	<b>24%</b>				
<b>Valor Anual =</b>	<b>(R\$4.060.473,60)</b>		<b>V. Residual:</b>	<b>30%</b>				

Com base no fluxo de caixa do empreendimento (Quadro 1) ao longo de 25 anos foi possível observar que o empreendimento não é viável se instalado e operado nas condições estudadas, pois o custo operacional somado aos impostos torna-se superior à receita bruta com a venda de energia elétrica e fertilizante, apresentando prejuízo anual de aproximadamente R\$ 1.600.000,00 nos primeiros anos. Esse resultado negativo tende a diminuir ao longo da vida econômica do projeto, devido ao aumento de produção, porém não viabiliza o projeto.

Se o investidor conseguisse um empréstimo de 70% do valor do investimento inicial do BNDS a juros de 9% a.a. para pagamento em 20 anos, o projeto também não seria viável. A Tabela 6 apresenta os indicadores financeiros para o fluxo de caixa do empreendimento e do investidor.

Tabela 6. Indicadores financeiros da viabilidade econômica do projeto.

Fluxo de caixa	Indicadores Financeiros				
	TMA	VPL (R\$)	TIR	VA (R\$)	Payback
Empreendimento	6,00%	-29.885.439,15	-	4.060.473,60	-
Investidor	6,00%	-33.151.218,60	-	4.504.188,38	-

De acordo com a análise dos indicadores financeiros (Tabela 6), o fluxo de caixa do empreendimento e do investidor não são viáveis economicamente, pois o VPL apresenta-se negativo, portanto não há taxa de retorno do investimento.

### **Análise de Sensibilidade**

A análise de sensibilidade avalia o impacto econômico da variação dos parâmetros utilizados na análise do projeto, tais como: investimento inicial, custos, despesas e receitas. Nesta pesquisa, a análise de sensibilidade apresenta particularmente os requisitos para a viabilidade do empreendimento, em função da possível variação de parâmetros como a capacidade de produção e preço final de venda. Dessa forma, o impacto dos pesos atribuídos aos atributos das soluções em análise também mostra como uma eventual variação do peso pode influenciar a mudança na decisão. Assim, foram estudados sete cenários, avaliando-se os impactos que a variação do preço de venda da energia e a capacidade de produção, entre outras variáveis, podem interferir na viabilidade do empreendimento.

#### *Primeiro Cenário*

O primeiro cenário estudado considera a implantação da planta de pirólise pela Prefeitura estudada, porém, devido ao elevado custo operacional, optou-se por avaliar economicamente com a planta operando em sua capacidade máxima, ou seja, processando 47 toneladas diárias de resíduos sólidos orgânicos. Dessa forma, estudou-se a possibilidade da implantação de um sistema integrado de gestão de resíduos sólidos urbanos entre o município estudado e outros municípios vizinhos, onde as prefeituras vizinhas entregariam os resíduos na planta de pirólise, arcando com o custo do transporte.

#### *Segundo Cenário*

O segundo cenário estudado avaliou a viabilidade econômica do negócio desconsiderando o custo da matéria prima no fluxo de caixa do empreendimento e do investidor e com condições operacionais para atender a demanda de geração de RSU do município.

### *Terceiro Cenário*

O terceiro cenário estudado considerou a implantação do projeto para processamento de 47 toneladas por dia de resíduos orgânicos, sem a absorção do custo operacional com a coleta dos resíduos. Neste cenário, todas as prefeituras participantes do sistema integrado, incluindo o município estudado, entregariam os resíduos na planta de pirólise, arcando com os custos da coleta e do transporte até a destinação final na usina de pirólise.

### *Quarto Cenário*

No quarto cenário estudado simulou-se a alteração do preço de venda da energia elétrica, considerando a operação da planta para suprir a demanda da geração de RSU no município. Considerou-se o valor de venda da energia elétrica de 413,95/KWh, que foi o valor máximo negociado pela CCEE no ano de 2013, equivalente a media do mês de maio de 2013.

### *Quinto Cenário*

O quinto cenário estudado utilizou a mesma variação do preço da venda de energia elétrica, com a diferença na quantidade de matéria prima processada diariamente. Optou-se por avaliar a atratividade do projeto, simulando um fluxo de caixa com processamento de 47 toneladas diárias com o preço máximo da energia elétrica de R\$ 413,95/MWh praticado em maio de 2013.

### *Sexto Cenário*

No sexto cenário estudado optou-se por avaliar o impacto dos impostos no fluxo de caixa do empreendimento. Dessa forma, utilizou os dados do fluxo de caixa inicial da condição de certeza, mantendo-se a quantidade de matéria prima gerada no município, e o preço de venda da energia foi mantido em R\$ 285,55.

### *Sétimo Cenário*

O sétimo cenário avaliou o impacto da isenção dos impostos considerando a operação da planta de pirólise em sua capacidade máxima, com processamento de 47 toneladas diariamente da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos. O preço da energia e do fertilizante manteve-se em R\$ 285,55/MWh e R\$ 125,00/t, respectivamente.

Realizou-se uma análise individual de cada cenário, considerando uma descrição de 25 anos, utilizando uma Taxa Mínima de Atratividade de 6%, Imposto de Renda/ Contribuição Social sobre o Lucro Líquido de 24% e Valor residual de 30% para todos os cenários. Na tabela 7 pode-se observar os resultados obtidos.

Tabela 7. Indicadores financeiros da viabilidade econômica do projeto.

Cenários	TIR <sup>1</sup> (%)	VPL <sup>2</sup> (R\$)	Valor anual	Payback
1	0,48	7.477.262,01	1.015.920,32	Inviável
2	5,32*	16.736.535,5	2.273.968,91	Inviável
3	8,44	3.440.127,35	467.403,08	11,70
4	1,90	6.904.770,27	938.147,04*	Inviável
5	11,44	7.956.037,18	1.080.970,53	9,02
6	10,37*	23.486.296,3	3.191.035,13	Inviável
7	8,18	3.068.357,42	416.891,46	12

<sup>1</sup> Taxa interna de retorno; <sup>2</sup> Valor presente Líquido; \* Valores negativos

Conforme valores apresentados na tabela 7, no primeiro cenário, apesar da taxa interna de retorno ser positiva, o VPL do empreendimento apresenta-se negativo, o que indica a inviabilidade da planta de pirólise. De acordo com os indicadores de viabilidade econômica, apesar do fluxo de caixa do empreendimento apresentar uma taxa interna de retorno de 0,48% a.a., não é viável economicamente para as condições deste estudo, pois a TMA foi fixada em 6%. O fluxo de caixa do investidor também não é viável, pois o VPL é negativo e não há taxa de retorno do investimento.

No segundo cenário percebe-se a que a implantação do empreendimento resulta para o empreendedor um prejuízo, de acordo com os indicadores financeiros é inviável a implantação da planta de pirólise, pois o VPL apresenta-se negativo e não há retorno do capital investido.

Avaliando os indicadores de viabilidade econômica do terceiro cenário, percebe-se que o fluxo de caixa passa a ser positivo, apresentando uma taxa interna de retorno de 8,44% ao ano. O valor presente líquido apresenta-se acima de zero, o que indica a atratividade do projeto, o prazo para recuperação do capital (*payback*), indica que o retorno do capital investido se dará em menos de 12 anos.

No quarto cenário o fluxo de caixa do empreendimento apresenta lucro líquido desde o primeiro ano de operação da planta de pirólise, porém não é suficiente para viabilizar economicamente a implantação do projeto, pois o VPL é negativo. Apesar de o cenário apresentar a taxa interna de retorno de 1,90%, o projeto não é viável economicamente.



Avaliando os indicadores de viabilidade econômica do quinto cenário, percebe-se que o fluxo de caixa é positivo, apresentando uma taxa interna de retorno de 11,44% ao ano. O valor presente líquido apresenta-se acima de zero, o que indica a atratividade do projeto. O prazo de recuperação do capital (*payback*) indica que o retorno do capital investido se dará em nove anos.

Com base no fluxo de caixa do empreendimento do sexto cenário ao longo de 25 anos, foi possível observar que o empreendimento não é viável se instalado e operado nas condições estudadas, mesmo com a isenção do imposto sobre a venda da energia elétrica e do fertilizante, o VPL apresenta-se negativo e não há retorno do capital investido.

Avaliando os indicadores de viabilidade econômica do sétimo cenário, percebe-se que o fluxo de caixa é positivo, apresentando uma taxa interna de retorno de 8,18% ao ano. O valor presente líquido apresenta-se acima de zero, o que indica a atratividade do projeto. O prazo de recuperação do capital (*payback*) indica que o retorno do capital investido se dará em doze anos neste cenário. Este cenário demonstra a importância de um programa a nível federal para isenção de impostos para projetos que visam a sustentabilidade ambiental, através da geração de energia de fontes alternativas aos combustíveis fósseis. A elevada carga tributária reduz a competitividade das empresas, onera seus investimentos e limita o desenvolvimento de projetos sustentáveis. Dessa forma, é fundamental que o sistema tributário seja reformulado para o desenvolvimento de fontes alternativas de geração de energia.

A análise de sensibilidade demonstrou a possibilidade de viabilizar o sistema de pirólise para tratamento de resíduos sólidos urbanos em função da variação de determinados parâmetros. Os parâmetros analisados compreenderam a variação da capacidade de produção, do custo operacional, do preço de venda da energia elétrica e ainda a isenção dos impostos sobre a venda dos subprodutos apresentando-se viáveis os cenários 3, 5 e 7.

### **Análise de Risco - Método de Simulação Monte Carlo**

Os estudos de investimentos pressupõem a existência de riscos, onde se supõem de que há possibilidade de algo não dar certo, dentro de uma distribuição de probabilidades estimada. Dessa forma é possível analisar riscos indiretos associados ao projeto como as variações não previstas no preço de venda, custos operacionais com aquisição da matéria prima ou insumos, ou ainda no investimento inicial.

Para a análise de risco da planta de pirólise para RSU utilizou-se o Método de Simulação Monte Carlo, tendo como base o fluxo de caixa resultante dos estudos para a determinação dos

parâmetros na condição de certeza para a pirólise, após a análise de sensibilidade que apresentou três condições diferentes para a viabilidade do projeto.

A seguir é apresentada a análise de Monte Carlo realizada com os valores de investimento inicial, a média do lucro líquido ao longo dos anos, a vida econômica e o valor residual do ativo variando conforme as probabilidades anteriormente citadas para os três cenários que demonstraram ser viáveis economicamente.

O quadro 2 apresenta os resultados sob a condição de risco para o cenário 3, que considerou a implantação da planta de pirólise sob condições operacionais de processamento de 47 toneladas diárias de resíduos sólidos. Para este cenário não foi considerado o custo da matéria prima, transferindo para o gerador do resíduo o custo com a coleta e o transporte até a planta de pirólise.

Quadro 2. Simulação Monte Carlo para o cenário 3.

Método Monte Carlo										
	Invest. Inicial		Lucro Liq.		Valor Res.		Vida Econômica		TMA	
	Valor	Dist. Ac.	Valor	Dist. Ac.	Valor	Dist. Ac.	Anos	Dist. Ac.	%	
	11.229.502,40	10	1.129.666,40	5	2.107.274,00	25	20	25	6,00%	
	12.633.190,20	25	1.270.874,70	20	4.214.548,00	75	25	75		E (VPL) = 5.118.876,26
	14.036.878,00	75	1.412.083,00	70	6.321.822,00	100	30	100		DP (VPL)= 2.427.059,29
	15.440.565,80	90	1.553.291,30	90						P (VPL<0) = 1,75%
	16.844.253,60	100	1.694.499,60	100						

  

	Invest. Inicial		Lucro Liq. após Imp.		V.R.		Vida Econômica		VPL	TIR
	num. aleat.	Valor	num. aleat.	Valor	num. aleat.	Valor	num. aleat.	Anos		
1	21	12633190	34	1412083	7	2107274	34	25	R\$5.908.961,67	10,38%
2	86	15440566	66	1412083	97	6321822	82	30	R\$5.097.211,52	8,69%
3	64	14036878	25	1412083	31	4214548	29	25	R\$4.996.265,83	9,27%
4	29	14036878	5	1129666	37	4214548	47	25	R\$1.386.033,84	6,93%
5	61	14036878	24	1412083	13	2107274	89	30	R\$5.767.103,82	9,49%
6	88	15440566	0	1129666	94	6321822	77	30	R\$1.209.794,71	6,65%
7	44	14036878	39	1412083	25	4214548	27	25	R\$4.996.265,83	9,27%
8	29	14036878	7	1270875	8	2107274	48	25	R\$2.700.157,88	7,87%
9	93	16844254	42	1412083	56	4214548	19	20	R\$666.343,15	6,44%
10	22	12633190	48	1412083	88	6321822	97	30	R\$7.904.587,12	10,92%
11	16	12633190	82	1553291	25	2107274	99	30	R\$9.114.500,03	11,95%
12	33	14036878	83	1553291	26	4214548	64	25	R\$6.801.381,82	10,40%
13	74	14036878	41	1412083	74	4214548	70	25	R\$4.996.265,83	9,27%
14	50	14036878	74	1553291	94	6321822	35	25	R\$7.292.373,77	10,55%
15	58	14036878	25	1412083	24	2107274	40	25	R\$4.505.273,87	9,07%
16	72	14036878	56	1412083	86	6321822	70	25	R\$5.487.257,78	9,45%
17	37	14036878	57	1412083	47	4214548	37	25	R\$4.996.265,83	9,27%
18	6	11229502	85	1553291	64	4214548	64	25	R\$9.608.757,42	13,46%
19	3	11229502	45	1412083	48	4214548	73	25	R\$7.803.641,43	12,11%
20	81	15440566	16	1270875	12	2107274	19	20	(R\$206.675,12)	5,84%
21	59	14036878	24	1412083	92	6321822	78	30	R\$6.500.899,32	9,71%
22	87	15440566	59	1412083	46	4214548	85	30	R\$4.730.313,77	8,57%
23	46	14036878	54	1412083	4	2107274	99	30	R\$5.767.103,82	9,49%
24	44	14036878	19	1270875	58	4214548	74	25	R\$3.191.149,83	8,11%
25	24	12633190	2	1129666	37	4214548	59	25	R\$2.789.721,64	8,04%
26	100	16844254	39	1412083	10	2107274	35	25	R\$1.697.898,27	7,00%
27	79	15440566	49	1412083	17	2107274	56	25	R\$3.101.586,07	7,96%
28	28	14036878	64	1412083	47	4214548	69	25	R\$4.996.265,83	9,27%
29	59	14036878	5	1129666	94	6321822	9	20	R\$891.480,59	6,66%
30	84	15440566	53	1412083	96	6321822	92	30	R\$5.097.211,52	8,69%

Na simulação do quadro 2, optou-se por utilizar a média aritmética dos lucros líquidos obtidos no período de 25 anos (R\$ 1.412.083,00); dessa maneira, os resultados apontam para um risco variando de 1 a 2% de o VPL ser negativo, o que pode ser considerado um risco insignificante.

O quadro 3 apresenta os resultados da simulação para o quinto cenário estudado. Neste cenário foi considerada a implantação do projeto da usina de pirólise para 47 toneladas diárias, com a variação no preço de venda da energia elétrica. Dessa forma, utilizou-se o valor máximo praticado no ano de 2013 de R\$ 413,95/MWh.

Quadro 3. Simulação Monte Carlo para o cenário 5.

Método Monte Carlo										
	Invest. Inicial		Lucro Liq.		Valor Res.		Vida Econômica		TMA	
	Valor	Dist. Ac.	Valor	Dist. Ac.	Valor	Dist. Ac.	Anos	Dist. Ac.	%	
	11.229.502,40	10%	1.245.148,00	5%	2.107.274,00	25	20	25	6,00%	
	12.633.190,20	25%	1.400.791,50	20%	4.214.548,00	75	25	75	E (VPL) = 7.867.483,34	
	14.036.878,00	75%	1.556.435,00	70%	6.321.822,00	100	30	100	DP (VPL)= 1.493.901,26	
	15.440.565,80	90%	1.712.078,50	90%					P (VPL<0) = 0,00%	
	16.844.253,60	100%	1.867.722,00	100%						

  

	Invest. Inicial		Lucro Liq. após Imp.		V.R.		Vida Econômica		VPL	TIR
	num. aleat.	Valor	num. aleat.	Valor	num. aleat.	Valor	num. aleat.	Anos		
1	67	16844254	81	1867722	44	4214548	18	20	R\$5.892.486,59	9,74%
2	50	16844254	84	1867722	59	4214548	80	30	R\$9.598.419,87	10,69%
3	19	16844254	76	1867722	60	4214548	89	30	R\$9.598.419,87	10,69%
4	5	16844254	17	1867722	94	6321822	57	25	R\$8.504.477,80	10,50%
5	67	16844254	78	1867722	40	4214548	86	30	R\$9.598.419,87	10,69%
6	70	16844254	7	1867722	10	2107274	12	20	R\$5.235.428,59	9,47%
7	2	16844254	97	1867722	71	4214548	24	20	R\$5.892.486,59	9,74%
8	8	16844254	29	1867722	26	4214548	71	25	R\$8.013.485,84	10,37%
9	34	16844254	86	1867722	15	2107274	36	25	R\$7.522.493,89	10,23%
10	14	16844254	51	1867722	4	2107274	38	25	R\$7.522.493,89	10,23%
11	29	16844254	97	1867722	82	6321822	30	25	R\$8.504.477,80	10,50%
12	90	16844254	91	1867722	40	4214548	51	25	R\$8.013.485,84	10,37%
13	84	16844254	6	1867722	56	4214548	34	25	R\$8.013.485,84	10,37%
14	65	16844254	73	1867722	56	4214548	91	30	R\$9.598.419,87	10,69%
15	13	16844254	80	1867722	54	4214548	93	30	R\$9.598.419,87	10,69%
16	29	16844254	74	1867722	57	4214548	89	30	R\$9.598.419,87	10,69%
17	61	16844254	32	1867722	80	6321822	46	25	R\$8.504.477,80	10,50%
18	85	16844254	39	1867722	26	4214548	90	30	R\$9.598.419,87	10,69%
19	20	16844254	63	1867722	8	2107274	97	30	R\$9.231.522,12	10,61%
20	19	16844254	60	1867722	30	4214548	87	30	R\$9.598.419,87	10,69%
21	83	16844254	41	1867722	41	4214548	10	20	R\$5.892.486,59	9,74%
22	39	16844254	63	1867722	55	4214548	85	30	R\$9.598.419,87	10,69%
23	27	16844254	57	1867722	41	4214548	86	30	R\$9.598.419,87	10,69%
24	90	16844254	74	1867722	77	6321822	20	20	R\$6.549.544,58	10,00%
25	40	16844254	49	1867722	48	4214548	83	30	R\$9.598.419,87	10,69%
26	37	16844254	89	1867722	77	6321822	64	25	R\$8.504.477,80	10,50%
27	9	16844254	77	1867722	7	2107274	59	25	R\$7.522.493,89	10,23%
28	3	16844254	48	1867722	34	4214548	20	20	R\$5.892.486,59	9,74%
29	98	16844254	73	1867722	8	2107274	62	25	R\$7.522.493,89	10,23%
30	3	16844254	68	1867722	87	6321822	11	20	R\$6.549.544,58	10,00%

Na análise de risco do cenário 5 também optou-se por utilizar a média aritmética dos lucros líquidos obtidos no período de 25 anos (R\$ 1.556.435,00). Neste cenário, o risco do VPL ser negativo é menor de 0,5%, o qual também pode ser considerado insignificante para avaliação de riscos do projeto.

O quadro 4 apresenta os resultados para a simulação do sétimo cenário estudado. O sétimo cenário avaliou o impacto da isenção dos impostos considerando a operação da planta de pirólise em sua capacidade máxima, com processamento de 47 toneladas diariamente da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos. O preço da energia e do fertilizante manteve-se em R\$ 285,55/MWh e R\$ 125,00/t, respectivamente.

Quadro 4. Simulação Monte Carlo para o cenário 7.

Método Monte Carlo											
	Invest. Inicial		Lucro Liq.		Valor Res.		Vida Econômica		TMA		
	Valor	Dist. Ac.	Valor	Dist. Ac.	Valor	Dist. Ac.	Anos	Dist. Ac.	%		
	11.229.502,40	10	940.112,80	5	2.107.274,00	25	20	25	6,00%	E (VPL) =	2.221.946,30
	12.633.190,20	25	1.057.626,90	20	4.214.548,00	75	25	75		DP (VPL)=	2.232.659,20
	14.036.878,00	75	1.175.141,00	70	6.321.822,00	100	30	100		P (VPL<0) =	15,98%
	15.440.565,80	90	1.292.655,10	90							
	16.844.253,60	100	1.410.169,20	100							

  

	Invest. Inicial		Lucro Liq. após Imp.		V.R.		Vida Econômica		VPL	TIR
	num. aleat.	Valor	num. aleat.	Valor	num. aleat.	Valor	num. aleat.	Anos		
1	61	14036878	15	1057627	51	4214548	47	25	R\$465.127,26	6,31%
2	86	15440566	18	1057627	42	4214548	55	25	(R\$938.560,54)	5,41%
3	78	15440566	63	1175141	25	2107274	26	25	R\$72.672,10	6,05%
4	36	14036878	88	1292655	59	4214548	81	30	R\$4.490.096,69	8,66%
5	69	14036878	16	1057627	91	6321822	3	20	R\$65.193,20	6,05%
6	86	15440566	46	1175141	65	4214548	26	25	R\$563.664,05	6,35%
7	67	14036878	60	1175141	74	4214548	49	25	R\$1.967.351,85	7,31%
8	53	14036878	32	1175141	20	2107274	93	30	R\$2.505.637,20	7,56%
9	49	14036878	45	1175141	5	2107274	51	25	R\$1.476.359,90	7,03%
10	73	14036878	84	1292655	75	6321822	7	20	R\$2.760.948,14	8,01%
11	76	15440566	9	1057627	70	4214548	47	25	(R\$938.560,54)	5,41%
12	92	16844254	57	1175141	8	2107274	71	25	(R\$1.331.015,70)	5,19%
13	31	14036878	76	1292655	14	2107274	15	20	R\$1.446.832,15	7,18%
14	87	15440566	17	1057627	7	2107274	73	25	(R\$1.429.552,50)	5,05%
15	43	14036878	100	1410169	90	6321822	90	30	R\$6.474.556,19	9,69%
16	8	11229502	51	1175141	62	4214548	55	25	R\$4.774.727,45	9,81%
17	36	14036878	97	1410169	54	4214548	1	20	R\$3.451.767,62	8,62%
18	16	12633190	47	1175141	36	4214548	20	20	R\$2.159.700,48	7,82%
19	44	14036878	96	1410169	71	4214548	69	25	R\$4.971.801,04	9,25%
20	85	15440566	78	1292655	9	2107274	68	25	R\$1.574.896,69	7,01%
21	31	14036878	25	1175141	9	2107274	52	25	R\$1.476.359,90	7,03%
22	45	14036878	90	1410169	60	4214548	36	25	R\$4.971.801,04	9,25%
23	7	11229502	43	1175141	75	4214548	54	25	R\$4.774.727,45	9,81%
24	22	12633190	9	1057627	61	4214548	10	20	R\$811.823,01	6,69%
25	44	14036878	99	1410169	22	2107274	87	30	R\$5.740.760,69	9,48%
26	46	14036878	81	1292655	91	6321822	42	25	R\$3.960.568,40	8,51%
27	15	12633190	64	1175141	44	4214548	87	30	R\$4.276.222,75	8,79%

Na análise de risco do sétimo cenário também optou-se por utilizar a média aritmética dos lucros líquidos obtidos no período de 25 anos (R\$ 1.175.141,00). Neste cenário, o risco do VPL ser negativo é significativo, variando de 15 a 20%.

O risco do projeto foi medido através da variabilidade do fluxo de caixa inicial, avaliando-se a chance do projeto tornar-se inaceitável devido ao grau do risco associado. Dessa forma, os cenários que apresentam o valor presente líquido próximo a zero são mais arriscados do que aqueles que apresentam maior folga nesse parâmetro. Assim, os cenários que apresentaram VPL positivo podem ser considerados atrativos para os investidores, desde que consideradas as configurações do projeto estudadas.

## CONCLUSÕES

Na análise de viabilidade econômica na condição de certeza, o processo de pirólise para RSU não se mostrou atrativo devido aos altos custos operacionais e os impostos sobre a venda de energia elétrica e fertilizante. Porém, na análise de sensibilidade, alguns parâmetros foram

modificados no fluxo de caixa financeiro, os quais impactaram diretamente na viabilidade do negócio.

A pesquisa possibilitou o estudo de vários cenários para viabilidade econômica de uma planta de pirólise para o tratamento de RSU para uma cidade brasileira de médio porte. Considerando a possibilidade da integração com mais municípios para complementar o volume de matéria prima, a absorção do custo do transporte dos RSU até a usina de pirólise e o aumento do preço de venda da energia elétrica, ou ainda a isenção de impostos, o projeto é uma alternativa rentável, ao passo que além dos benefícios econômicos, a planta de pirólise possibilita a eliminação do passivo ambiental gerado pelos aterros sanitários.

Este estudo traz contribuições ao conhecimento do atual sistema de manejo dos RSU no município; e os dados obtidos com a análise de viabilidade econômica poderão subsidiar o planejamento de novas políticas públicas direcionadas ao setor.

## REFERÊNCIAS

- BAGGIO, P. et al. 2008. Energy and environmental analysis of an innovative system based on municipal solid waste (MSW) pyrolysis and combined cycle. **Applied Thermal Engineering**, **28**:136-144.
- BAHNG, M. K. et al. 2009. Current technologies for analysis of biomass thermochemical processing: A review. **Analytica Chimica Acta**, **651**:117–138.
- BENTO, M. S. 2004. **Estudo cinético da pirólise de precursores de materiais carbonosos**. Dissertação (Mestrado em Ciência) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), 190p.
- BRYAN, B. A. et al. 2011. Landscape futures analysis: Assessing the impacts of environmental targets under alternative spatial policy options and future scenarios. **Environmental Modelling & Software**, **26**:83–91.
- BUAH, W. K.; CUNLIFFE, A. M.; WILLIAMS, P. T. 2007. Characterization of products from the pyrolysis of municipal solid waste. **Process safety and Environmental Protection**, **85**:450-457.
- CAPUTO, A. C.; PELAGAGGE, P. M. 2002. - RDF Production Plants: II Economics and Profitability. **Applied Thermal Engineering**, **22**:439-448.

- CARTA, R. et al. 2012. **Pirólise lenta, úmida e catalítica dela Pollina**. Disponível em: <[http://www.maim.it/files/pirolisi\\_lenta\\_umida\\_e\\_catalitica\\_della\\_pollina.pdf](http://www.maim.it/files/pirolisi_lenta_umida_e_catalitica_della_pollina.pdf)>. Acesso em: 15 ago. 2013.
- CCEE, Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. 2013. Disponível em: <[http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/inicio?\\_afLoop=838873261990485#%40%3F\\_afLoop%3D838873261990485%26\\_adf.ctrl-state%3Ds97otx2i\\_4](http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/inicio?_afLoop=838873261990485#%40%3F_afLoop%3D838873261990485%26_adf.ctrl-state%3Ds97otx2i_4)>. Acesso em: 12 ago. 2013.
- FURLANETTO, T. 2012. **Estudo de alternativas locacionais para a viabilidade ambiental de empreendimentos: o caso aeroporto de Ribeirão Preto – SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, 76p.
- GARCIA I. T. S. et al. 2007. Obtenção e caracterização de carbono ativado a partir de resíduos provenientes de bandas de rodagem. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, **17**(4):329–333.
- GIARETTA, E. 2007. **Reciclagem de borra de tinta via Pirólise**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processo e Tecnologia) - Universidade de Caxias do Sul – UCS, 102p.
- GONÇALVES, C. K. 2007. **Pirólise e combustão de resíduos plásticos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 60p.
- GRANT, E. L. 1982. **Principles of Engineering Economy**. 7. ed. New York: John Wiley and Sons, 687p.
- HESS, G. et al. 1992. **Engenharia Econômica**. 21. ed. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 100p.
- ISLAM, M. N.; BEG, M. R. A. 2004. The fuel properties of pyrolysis liquid derived from urban solid wastes in Bangladesh, **Bioresource Technology**, **92**:181-186.
- LIMA, L. M. Q. 1991. **Lixo – Tratamento e Biorremediação**. São Paulo: Hemus Editora Ltda., 265p.
- MAIM ENGINEERING, **Planta de Pirólise**. 2013. Disponível em: <<http://www.maim.it/riciesta-preventivi/>>. Acesso em: 08 nov. 2013.
- MARTINS, A. F. et al. 2007. Caracterização dos produtos líquidos e do carvão da pirólise de serragem de eucalipto. **Química Nova**, **30**(4):873–878.

MESA, J. M. et al. 2003. Pirólise rápida em leito fluidizado: uma opção para transformar biomassa em energia limpa. **Revista Analytica**, **04**:32–36.

MORRISON, R.; BOYD, R. 1993. **Química orgânica**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 146p.

NOBLE, B. F. 2000. Strengthening EIA through adaptive management: a systems perspective. **Environmental Impact Assessment Review**, **20**:97–111.

QI, Z. et al. 2007. Review of biomass pyrolysis oil properties and upgrading research. **Energy Conversion and Management**, **48**:87-92.

RFB, Receita Federal do Brasil. 1998. **Instrução Normativa SRF N. 162**, de 31 de dezembro de 1998. IRPJ (Imposto sobre a renda das pessoas jurídicas). Disponível em: <<http://idg.receita.fazenda.gov.br/acesso-rapido/tributos/IRPJ>>. Acesso em: 10 ago. 2013.

RINGER, M.; PUTSCHE, V.; SCAHILL, J. 2006. **Large-scale pyrolysis oil production: a technology assessment and economic analysis**. National Renewable Energy Laboratory. Technical Report NREL/TP-510-37779. Colorado, U.S. Disponível em: <http://www.nrel.gov/docs/fy07osti/37779.pdf>. Acesso em jul. 2013.

SÁNCHEZ, L. E. 2008. **Avaliação de Impacto Ambiental: Conceitos e Métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 495p.

SELUR, Sindicato das Empresas de Limpeza Urbana. **Composição do cálculo da taxa de encargos sociais** (memória de cálculo). 2013. Disponível em: <<http://www.selur.com.br/wordpress/wp-content/uploads/2014/02/ENCARGOS-SOCIAIS-SELUR-MEM%C3%93RIA-VERS%C3%83O-JUNHO2013.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2013.

SOUZA, M. P. 2000. **Instrumentos de gestão ambiental: fundamentos e prática**. São Carlos: Riani Costa, 30p.

WANG, S. et al. 2011. Influence of the interaction of components on the pyrolysis behavior of biomass. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, **91**:183-189.