

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA UNIFOR-MG
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ANA FLÁVIA NUNES

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE COMBUSTÍVEL
PELO PROCESSO DE PIRÓLISE DE RESÍDUOS PLÁSTICOS**

FORMIGA-MG
2019

ANA FLÁVIA NUNES

ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE COMBUSTÍVEL
PELO PROCESSO DE PIRÓLISE DE RESÍDUOS PLÁSTICOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Química do UNIFOR-
MG, como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Química.
Orientador: Emerson Paulino dos Reis

FORMIGA MG

2019

Ana Flávia Nunes

ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE COMBUSTÍVEL
PELO PROCESSO DE PIRÓLISE DE RESÍDUOS PLÁSTICOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
curso de Engenharia Química do UNIFOR-
MG, como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Química.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Ms. Emerson Paulino dos Reis

Orientador



Prof. Ms. Christiane Pereira Rocha Sousa

UNIFOR-MG



Prof. Neylor Makalister Ribeiro Vieira

UNIFOR-MG

Formiga, 01 de novembro de 2019.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que me deu forças e sabedoria para vencer mais essa etapa.

Agradeço especialmente meu orientador Emerson Paulino dos Reis, pelo incentivo, dedicação, paciência e confiança ao longo deste ano.

Aos meus pais pelo apoio, ao longo da minha jornada acadêmica.

Ao meu namorado Walisson, pelo carinho, paciência e motivação.

E a todos que de alguma forma, contribuíram para minha formação, meu muito obrigado.

RESUMO

Atualmente o grande consumo de materiais plásticos vem trazendo consequências ruins para a população mundial. Juntamente com o esse consumo exagerado, está á elevada produção de resíduos plásticos e uma grande necessidade de buscar meios de reciclagens alternativos. O processo de pirólise pode contribuir de forma significativa para o tratamento de resíduos plásticos, além de gerar subprodutos que podem ser aplicados como combustíveis ou matéria prima em novos processos. O presente trabalho tem o objetivo de verificar a viabilidade econômica para a produção de combustíveis a partir do processo de pirólise de resíduos de polietileno. Para realização do estudo de viabilidade econômica, foi aplicados indicadores de retorno financeiro como a Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Mínima de Atratividade (TMA), Fluxo de caixa e Payback. Os indicadores de retorno financeiro apresentaram resultados satisfatórios, apontando a viabilidade do processo de acordo com as considerações estabelecidas no trabalho, obtendo-se uma TIR de 25,96%, um VPL de R\$5.290.202,17 e para esse investimento considerou-se uma TMA de 10%. O tempo esperado para inicio do retorno do investimento também se apresentou favorável com um payback de 3 anos e 9 meses. Mesmo com a viabilidade do projeto é importante o desenvolvimento de novos estudos, buscando a otimização do processo e novos meios de aplicação, para que seja possível a aplicação desse processo em grande escala.

Palavra chave: Pirólise. Reciclagem. Viabilidade Econômica.

ABSTRACT

These days the great consumption of plastic materials has been bringing harmful effects upon the world's population. Along with the exaggerated consumption, there is a high production of plastic waste, and a great need to start looking for alternative recycling means. The pyrolysis process can significantly contribute to the recovery of raw material from plastic waste and it can also generate byproducts that can be used as fuels or raw material in new processes. This study aims to verify the economic viability of the production of fuels from pyrolysis of polyethylene residues. Financial indicators such as the Internal Rate of Return (IRR), the Net Present Value (NPV), the Minimum Attractive Rate of Return (MARR), Cash Flow, and Payback Period were used when conducting the economic analysis of this process. These financial indicators demonstrated satisfactory results indicating that this process, according to the specifications established in this study, is indeed economically viable. It has obtained as results of the economic analysis a 25.96% IRR, an R\$ 5.290.202,17 NPV. On this specific investment, it was considered a 10% MARR. The expected time to start getting any return from this specific investment was also favorable showing a 3-year and 9-month payback period. Even though this is an economically viable process, it still is important that new studies be developed seeking the optimization of such process and finding new means of application allowing this process to successfully be applied in a large scale.

Keyword: Pyrolysis. Recycling. Economic viability.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1- Técnicas de reciclagem química.	22
Figura 2- Diagrama do processo de pirólise de resíduos plásticos.....	25
Figura 3- Diagrama representativo fluxo de caixa.	37

LISTAS DE QUADROS

Quadro 1 - Plásticos constituintes do grupo dos termoplásticos e dos termoendurecíveis.	17
Quadro 2 - Código de identificação dos principais tipos de plásticos.....	18
Quadro 3 - Tipos de reatores de pirólise e características principais.	26
Quadro 4 - Passos para execução de uma análise de fluxo de caixa descontado.	38
Quadro 5 - Fonte de informações consideradas.	45

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1- Poder calorífico dos principais tipos de plásticos e outros combustíveis.	23
Tabela 2 - Comparação preço e PCI para diferentes combustíveis.	48
Tabela 3 - Descrição despesas e receitas para período inicial do projeto.....	50
Tabela 4 - Custo do investimento inicial.	50
Tabela 5 - Fluxo de caixa primeiro ano.	51
Tabela 6 - Faturamento líquido anual.	51
Tabela 7 - Detalhamento fluxo de caixa acumulado.	52
Tabela 8 - Resultados indicadores de retorno de investimento.	52

LISTA DE SIGLAS

ABS	Termopolímero Acrilonitrilo/Estireno/ Butadieno
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
EPS	Poliestireno Expandido
FDC	Fluxo de Caixa Descontado
ONUBR	Organização das Nações Unidas Brasil
PB	Payback
PCI	Poder Calorífico Inferior
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PET	Politereftalato de Etileno
PMMA	Polimetacrilato de Metilo
PP	Polipropileno
PPVC	Policloreto de Vinilo Rígido
PRI	Período de Recuperação do Investimento
PS	Poliestireno
PU	Poliuretano
PVC	Policloreto de Vinila

RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SAC	Sistema de Amortização Constante
SAN	Copolímero Acrilonitrilo/ Estireno de Metilo
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SIMPLAST	Sindicato da Indústria do Material Plástico do Estado de Minas Gerais
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UPVC	Policloreto de Vinilo Flexível
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo geral.....	14
2.2 Objetivos específicos	14
3 JUSTIFICATIVA	15
4 REFERENCIAL TEÓRICO	16
4.1 Plástico	16
4.1.1 Tipos de plásticos.....	17
4.1.2 Reciclagem	20
4.1.2.1 Reciclagem mecânica	20
4.1.2.2 Reciclagem química.....	21
4.1.2.3 Reciclagem energética.....	23
4.2 Pirólise.....	23
4.2.1 Processo Produtivo.....	24
4.2.2 Produtos obtidos.....	27
4.2.2.2 Polipropileno.....	29
4.2.2.3 Poliestireno.....	31
4.2.2.4 Policloreto de Vinila	32
4.2.2.5 Polietileno Tereftalato.....	33
4.2.3 Pirólise de resíduos plásticos no Brasil.....	34
4.3 Viabilidade econômica.....	35
4.3.1 Fluxo de caixa e fluxo de caixa descontado.....	36
4.3.2 Taxa mínima de atratividade (TMA)	38
4.3.3 Valor presente líquido (VPL)	39
4.3.4 Taxa interna de retorno (TIR)	41
4.3.5 Payback	42

5 METODOLOGIA.....	45
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
7 CONCLUSÃO.....	54
REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

Os materiais poliméricos mais conhecidos popularmente como plásticos possuem características que fazem deles um material de grande importância e muito presente nas vidas das pessoas, estando presentes nos mais diversos setores (BRASKEM, 2017). Devido aos seus benefícios o consumo de materiais plásticos vem aumentando de maneira significativa a cada ano, o que acaba sendo um problema para a população mundial, devido ao longo tempo necessário para sua degradação. Soares (2017) menciona que desde 1950 a 2015 a população mundial gerou cerca de 8,3 bilhões de toneladas métricas de plástico, sendo menos de 10% deste total destinado à reciclagem e que até o ano de 2050 cerca de 12 bilhões de toneladas métricas de resíduos serão depositados em locais indevidos como aterros, mares e áreas naturais. As características dos materiais plásticos permitem seu reaproveitamento através de processos de reciclagem, que pode ser química, mecânica ou energética, onde cada processo distingue-se entre eles o modo como o plástico é reciclado.

A pirólise é um dos métodos de reciclagem química, onde os resíduos plásticos são submetidos a uma elevada temperatura na ausência total ou parcial de oxigênio, assim ocasionando a degradação do plástico, obtendo como produto final líquidos, sólidos e gases, que podem ser usados como combustíveis e também reaplicados como matéria-prima em refinarias e indústrias químicas (FIGUEIREDO *et al.*, 2015). Além de contribuir para a redução de resíduos plásticos, o processo de pirólise pode atender a atual necessidade do setor petroquímico na busca de produtos substitutos para o petróleo, devido às características dos produtos obtidos pelo processo. Apesar das inúmeras vantagens é um processo com baixo índice de aplicação, o que dificulta na obtenção de informações precisas sobre o assunto.

O baixo índice de aplicação do processo pode estar relacionado à ausência de informações relacionadas com os produtos obtidos e principalmente sobre o retorno financeiro do processo. O estudo de viabilidade econômica é uma peça chave para verificar o retorno de um investimento, pois reúne variáveis do empreendimento fornecendo indicadores para auxiliar nas decisões a serem tomadas, possibilitando uma visão futura do empreendimento (RIBEIRO, 2017). Então o presente trabalho busca apresentar um estudo sobre a viabilidade econômica do processo, para que possa servir de referência para estudos futuros e também servir como incentivo para a aplicação do processo em grande escala.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Verificar a viabilidade econômica da aplicação do processo de pirólise de resíduos plásticos para a produção de combustíveis no Brasil.

2.2 Objetivos específicos

- Apresentar os diversos tipos de plásticos e os processos de reciclagem aos quais podem ser submetidos.
- Descrever o processo de pirólise de resíduos plásticos, os produtos obtidos e a aplicação do processo no Brasil.
- Apresentar ferramentas utilizadas para verificar a viabilidade econômica de um projeto.
- Apresentar resultados sobre a rentabilidade da aplicação do processo de pirólise para produção de combustíveis.

3 JUSTIFICATIVA

O consumo excessivo do plástico vem sendo alvo de discussões a um nível mundial. A grande parte dos materiais plásticos pode ser reciclada e reinserida em novos processos, mas na maioria das vezes acaba sendo descartada de maneira incorreta no meio ambiente, em locais inapropriados, o que acaba causando grandes impactos ambientais. Santos (2019) descreve que resíduos de materiais plásticos levam um período superior a 400 anos para se decompor de maneira natural. O Brasil é o 4º maior produtor de lixo plástico do mundo e sua média de reciclagem é inferior à média de reciclagem mundial (MARQUES, 2019). Outro fator de grande preocupação é a exploração de fontes de energias não renováveis, como o petróleo que, além de ser usado para a produção de combustíveis, é utilizado também como matéria de diversos produtos, incluindo os plásticos. Portanto, com uma possível escassez do petróleo e consumo exagerado de plástico, é necessário buscar soluções viáveis que possam contribuir para redução de resíduos plásticos e que colaborem com a preservação de fontes de energias não renováveis.

Em meio a vários processos de reciclagem, o processo de pirólise pode atender essas necessidades, pois quando resíduos poliméricos são submetidos a esse processo de degradação resulta na formação de compostos que podem ser aplicados para produção de combustíveis ou monômeros que podem ser utilizados na produção de plásticos. Mas apesar das vantagens apresentadas, este processo apresenta um baixo índice de aplicação, principalmente no Brasil. devido à falta de estudos sobre o processo, o que gera uma grande insegurança com relação ao retorno do investimento aplicado. Este trabalho se justifica em função de um número restrito de estudos sobre o processo de pirólise e visa verificar a viabilidade econômica da produção de combustíveis por este processo, para que possa ser utilizado futuramente como referência em outras pesquisas.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico tem como objetivo, apresentar conceitos relacionados ao tema, como propriedades, classificação, reciclagem entre outras características de materiais plásticos. Será abordado também o processo de pirólise de resíduos plásticos, suas etapas de produção, produtos gerados pelos diferentes tipos de plásticos e também a aplicação do processo no Brasil. Com o objetivo de verificar a viabilidade econômica da produção de combustíveis pelo processo de pirólise de resíduos plásticos, serão apresentadas também ferramentas usadas para verificar a viabilidade econômica de um projeto.

4.1 Plástico

“Durante sua longa caminhada, o ser humano vem modificando o meio onde vive” (PIATTI; RODRIGUES, 2005, p.10), buscando maneiras de suprir suas necessidades, a fim de melhorar sua qualidade de vida.

Os primeiros materiais utilizados como elementos estruturais, de proteção e na fabricação de instrumentos foram encontrados “prontos” na natureza, como pedras, madeiras, folhas de árvores etc. Foi através da observação de processos naturais que os seres humanos se inspiraram e, com algumas modificações, transformaram os materiais existentes, dando origem a materiais artificiais (PIATTI; RODRIGUES, 2005, p.10).

Como resultados da incessante busca por novos materiais foram desenvolvidos os polímeros, sendo o plástico o mais conhecido. Segundo Canevarolo (2006), Leo Baekeland (1863-1944) foi responsável por produzir o primeiro polímero sintético, através da reação entre fenol 1 e formaldeído, e em 1920 o cientista alemão Hermann Staudinger (1881-1965) propôs a teoria da macromolécula.

Muitos dos polímeros são compostos orgânicos com estruturas moleculares muito grandes, formadas por carbonos, hidrogênios e elementos não metálicos, que usualmente apresentam baixas densidades e uma alta flexibilidade (CALLISTER, 2002).

A síntese dos polímeros é um processo que começa com o processo de craqueamento térmico da nafta, a qual é um subproduto obtido através da destilação fracionada do petróleo, onde nesse processo a nafta é submetida a um aquecimento realizado na presença de

catalisadores e a partir desse processo é obtida uma série de produtos como etileno, propileno, butadieno, buteno e isobutileno (PIATTI e RODRIGUES, 2005). Esses produtos são direcionados para a continuidade do processo de polimerização que é definido por Lima *et al.*,([2013]) como uma transformação química onde os monômeros juntam-se para formar as cadeias poliméricas. Canevarolo (2013) descreve que cadeias poliméricas são macromoléculas formadas pelas repetições de ligações intermoleculares.

4.1.1 Tipos de plásticos

Os materiais plásticos são compostos fundamentais por possuírem uma capacidade de fazer diferentes combinações químicas, que ocorrem através do processo de polimerização (BRASKEM, 2012). Piatti e Rodrigues (2005, p. 17) exemplificam o processo de polimerização como “um jogo de encaixe onde a união de blocos pode formar cadeias de tamanhos variados, com ou sem ramificações (cadeias laterais ligadas às cadeias principais)”. Piatti e Rodrigues (2005) também mencionam que, conforme as condições da reação são possíveis obter uma grande variedade de polímeros com características específicas, possibilitando sua aplicação em várias áreas.

Strong (1996) cita que os materiais poliméricos se encontram dividido em dois grandes grupos que são os termoplásticos e os termoendurecíveis. Analisando o QUADRO 1 observa-se os principais polímeros pertencentes a cada um desses grupos apresentados por Costa (2006):

Quadro 1 - Plásticos constituintes do grupo dos termoplásticos e dos termoendurecíveis.

(continua)

Termoplásticos	Termoendurecíveis
Politereftalato de etileno (PET ou PETE)	Poliuretano (PU)
Polietileno de Alta Densidade (PEAD)	Resinas alquílicas
Polietileno de Baixa Densidade (PEBD)	Poliâmidas
Policloreto de Vinilo Flexível (UPVC)	Resinas epoxídicas
Policloreto de Vinilo Rígido (PPVC)	Poliésteres
Polipropileno (PP)	Resinas fenólicas
Poliestireno (PS)	
Poliestireno Expandido (EPS) Terpolímero Acrlonitrilo/Estireno/Butadieno (ABS)	
Copolímero Acrlonitrilo/ Estireno de Metilo (SAN)	
Polimetacrilato de Metilo (PMMA)	

(continuação)

Termoplásticos	Termoendurecíveis
Acrílicos	
Acetais	
Policarbonatos	



Fonte: COSTA (2006).

De acordo com Costa (2006) os termoplásticos e termoendurecíveis possuem características diferentes. A morfologia dos termoplásticos permite que após sua fusão esses materiais não alterem suas propriedades, mesmo após serem submetidos à perda de calor. Com isso são classificados como polímeros recicláveis. Já os materiais termoendurecíveis são classificados como polímeros não recicláveis, por serem formados por estruturas tridimensionais. Quando submetidos a um aumento de temperatura ocorre a destruição das ligações covalentes, causando a degradação do material.

Segundo Coltro, Gasparino e Queiroz (2007) “muitos produtos feitos de materiais plásticos apresentam um código de identificação da resina, normalmente um número de 1 a 7 dentro de um triângulo de três setas e sob o mesmo uma abreviatura”, os respectivos códigos tem o objetivo de identificar a categoria de cada plástico além de facilitar o processo de separação para reciclagem. O QUADRO 2, apresenta os principais códigos, características e aplicações dos principais tipos de plásticos.

Quadro 2 - Código de identificação dos principais tipos de plásticos.

(continua)

Código	Tipo de plástico	Características	Exemplos de aplicações
	Politereftalato de etileno (PET ou PETE)	Transparente, impermeável a gases e à humidade e resistente ao calor.	Garrafas de água e de refrigerantes, embalagens de produtos alimentares, enchimentos de almofadas e sacos cama, fibras têxteis, etc.
	Polietileno de alta densidade (PEAD)	Rígido, resistente a produtos químicos e à humidade, permeável a gases, fácil de produzir e moldar.	Garrafas de leite, água e sumos, garrafas para produtos químicos domésticos, garrafas de álcool, embalagens de iogurte e de manteiga, brinquedos, tanques de combustível, etc.

(continuação)

Código	Tipo de plástico	Características	Exemplos de aplicações
	Vinílico (Policloreto de Vinilo flexível ou UPVC)	Versátil, rígido, resistente à gordura e a produtos químicos, transparente.	Embalagens transparentes de alimentos, garrafas para detergentes líquidos, embalagens para aplicações médicas, isolamentos de fios e cabos, etc.
	Vinílico (Policloreto de Vinilo rígido ou PPVC)	Flexível, elástico e transparente.	Tubos e conexões para água, calçado, acessórios médico-cirúrgicos, revestimentos, etc.
	Polietileno de baixa densidade (PEBD)	Fácil de transformar, impermeável à humidade, flexível, fácil de selar.	Embalagens de alimentos, garrafas para apertar (mostarda, ketchup), sacos industriais, sacos para o lixo, lonas agrícolas, filmes, etc.
	Polipropileno (PP)	Resistentes à produtos químicos e ao calor, permeáveis à humidade e a gordura e versátil.	Embalagens para massas e bolachas, recipiente de iogurte e de manteiga, seringas descartáveis, acessórios médico-cirúrgicos, fibras e fios têxteis, peças de automóvel, utilidades domésticas, etc.
	Poliestireno (PS)	Transparente ou opaco semi-áspero, vidrado, rígido, frágil, funde a 95°C. Não é resistente a gorduras e a solventes.	Pratos, talheres chávenas e copos para água e café descartáveis, embalagens de alimentos, aparelhos de som e televisões, revestimento de frigoríficos, capas de CD's, etc.
	Poliestireno Expandido (EPS)	Alveolar, leve, absorve energia, isolante térmico.	Embalagens de carne, painéis isolantes, caixas, enchimentos de proteção de objetos frágeis, etc.
	Inclui todas as outras resinas e combinações de várias resinas. Exemplos: poliamidas (PA), copolímeros acrilonitrilo/estireno/butadieno e acrilonitrilo/estireno (ABS/SAN), polimetacrilato de metila (PMMA), acrílicos, poliuretanos (PU) e resinas fenólicas.		

Fonte: Iso 11469¹ (apud COSTA, 2006).

Esse método para identificação de resinas plásticas foi desenvolvido com objetivo de facilitar o processo de separação para os recicladores, além de estimular o controle de qualidade na etapa de separação de resíduos plásticos, para que o processo de reciclagem possua materiais os mais homogêneos possíveis (COLTRO, GASPARINO e QUEIROZ, 2007).

¹ ISO 11469: “Plastics-Generic identification and marketing of Plastics Products”

4.1.2 Reciclagem

Os produtos plásticos estão cada vez mais presentes na vida das pessoas. De acordo com Soares (2017) “o uso do material revolucionou a indústria, mas também gerou um grande desafio para o planeta: o acúmulo de lixo”. Segundo a ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONUBR, 2019) “o mundo produz cerca de 300 milhões de toneladas de lixo plástico a cada ano, até o momento, somente 9% do lixo plástico foi reciclado e somente 14% são coletados para reciclagem”. O baixo índice de reciclagem prejudica diretamente o meio ambiente, pois em grande parte o descarte ocorre de maneira incorreta. Gama (2018) afirma que através de resultados obtidos por meio de pesquisas, grande parte dos brasileiros tem pouco conhecimento ou nada sobre coleta seletiva.

Boehm (2018) menciona que “o Brasil produz mais de 78,3 milhões de toneladas de resíduos sólidos por ano, dos quais 13,5% - o equivalente a 10,5 milhões de toneladas são de plástico”. Coelho (2019) diz que o Brasil é o 4º maior produtor de lixo plástico do mundo e um dos que menos recicla esse lixo, sendo apenas 1,2% reciclado, ou seja, cerca de 145.043 toneladas. Mas o processo de reciclagem pode ser dificultado pelo fato da separação dos resíduos. Conforme a ONUBR (2019) “nem todo plástico pode ser reciclado, e uma falta de conscientização pública significa que coletas do material são frequentemente contaminadas”.

Fraga (2014) menciona a importância da reciclagem de resíduos plásticos, pois contribui para a redução de resíduos sólidos descartados de maneira incorreta em locais inadequados, e que o processo de reciclagem possibilita a reinserção de materiais ao processo produtivo, gerando uma redução no uso de matéria-prima virgem, no consumo de energia e na exploração de matérias-primas fósseis.

A reciclagem pode ser mecânica, química ou energética, mas a reciclagem mecânica é um processo mais simples que os demais e por isso apresenta uma maior implantação (BRASKEM, 2012).

4.1.2.1 Reciclagem mecânica

No processo de reciclagem mecânica os resíduos plásticos são transformados em grãos e reaproveitados na fabricação de outros produtos, como fibras, embalagens não comestíveis,

sacos de lixo etc, (SIMPLAST, 2015). Spinacé e De Paoli (2004) descrevem que a reciclagem mecânica pode ser proporcionada através do processamento por extrusão, injeção, termoformagem, moldagem por compressão, entre outros.

A reciclagem mecânica pode ser primária (resíduos pós-industriais) ou secundária (resíduos pós-consumo). Fraga (2014) caracteriza a reciclagem primária como a reciclagem de resíduos oriundos da própria indústria de transformação que em alguns casos são reinseridos no processo por possuírem propriedades muito semelhantes ao produto virgem. Por sua vez, a reciclagem secundária é caracterizada como a reciclagem de resíduos gerados por descartes de produtos já consumidos.

O processo de reciclagem secundária (pós-consumo) é um processo mais criterioso que o primário, devido ao fato de dos resíduos estarem misturados aos produtos consumidos e até mesmo contaminados (BRASKEM, 2012). De acordo com Fraga (2014), a reciclagem de produtos secundários exige primeiramente uma triagem dos resíduos plásticos, conforme o processo descrito abaixo:

- **Separação de contaminantes:** retirada de papel, pó e outras impurezas.
- **Moagem:** os resíduos de um mesmo tipo de material plástico são moídos juntamente.
- **Lavagem:** geralmente é feita com água, mas, em alguns casos, pode ser feita a lavagem química para a remoção de colas.
- **Separação por densidade:** os *flakes* (flocos) são separados por densidade.
- **Aditivção:** incorporação de certos aditivos, a fim de corrigir algumas propriedades do produto final.
- **Extrusão:** o plástico é extrudado em filamentos e, depois, granulado.

4.1.2.2 Reciclagem química

A reciclagem química é um processo “reverso”, no qual o processo de despolimerização transforma os resíduos plásticos em produtos químicos que podem se tornar matérias-primas para a fabricação do plástico ou de outros produtos sintéticos (BRASKEM, 2012). Já Fraga (2014) descreve que na reciclagem química, também conhecida como reciclagem terciária, o material tem sua estrutura química alterada e os produtos resultantes,

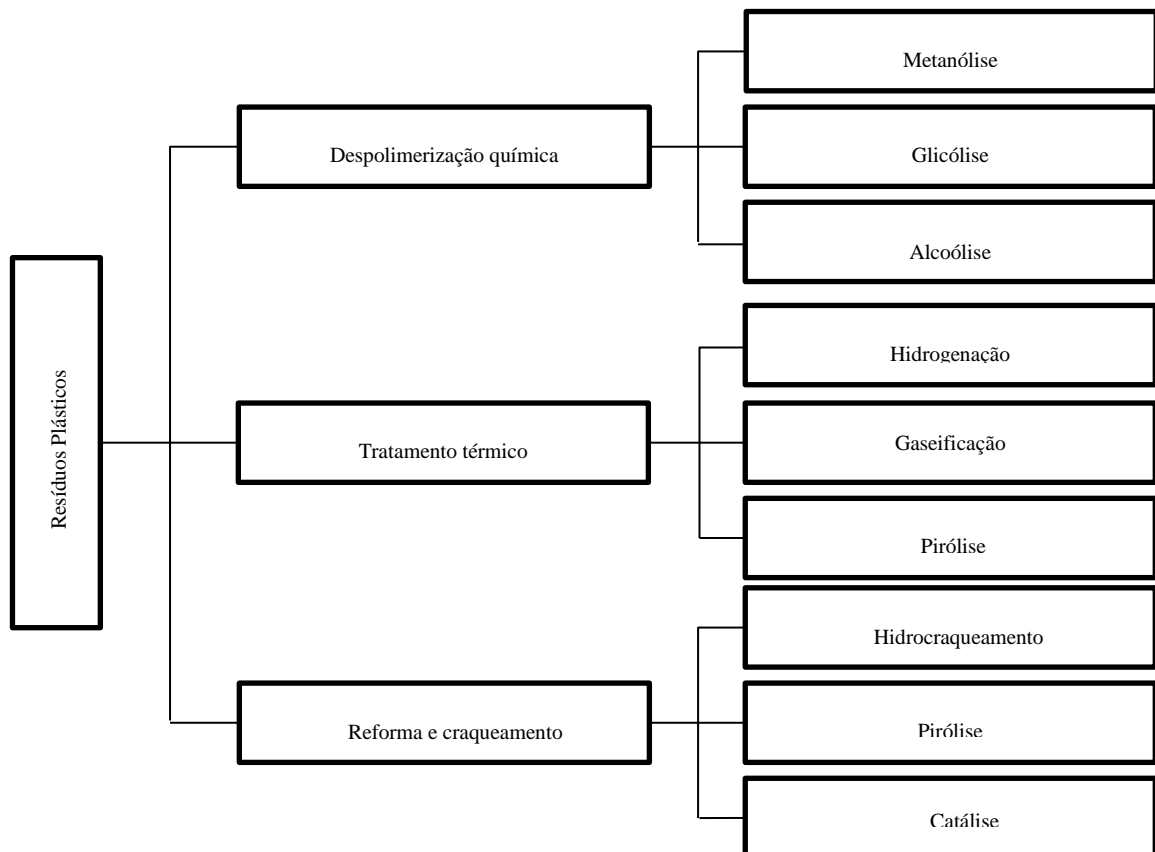
além de poderem ser aplicados na fabricação de plásticos, podem também ser usados como combustíveis e solventes industriais.

A seguir são apresentados alguns dos processos de reciclagem química de polímeros (ECYCLE, [2018]):

- **Hidrogenação:** o processo ocorre através da quebra das cadeias poliméricas por meio do tratamento com oxigênio e calor.
- **Gaseificação:** resíduos plásticos são aquecidos com ar ou oxigênio, gerando uma mistura de gases que contenham monóxido de carbono e oxigênio.
- **Pirólise:** ocorre a quebra das moléculas pelo calor na ausência de oxigênio, que gera uma fração de hidrocarbonetos capazes de serem processados em refinarias.
- **Quimólise:** quebra total ou parcial dos plásticos em monômeros na presença de glicol, metano e água.

Veem-se através da FIG. 1 algumas das técnicas utilizadas para o processo de reciclagem química, apresentado por Fraga (2014):

Figura 1- Técnicas de reciclagem química.



Neste trabalho será enfatizada a reciclagem química de resíduos plásticos, através do processo de pirólise.

4.1.2.3 Reciclagem energética

Materiais plásticos possuem um alto poder calorífico que pode ser recuperado através do processo de incineração, no qual, com calor obtido na queima, é possível gerar vapor e/ou eletricidade (BRASKEM, 2012). Spinacé e De Paoli (2004) comparam o poder calórico de 1 kg de resíduo plástico ao de 1L de óleo.

A TAB. 1 apresenta o poder calorífico dos principais plásticos e alguns combustíveis apresentado por CALHEIROS (2017).

Tabela 1- Poder calorífico dos principais tipos de plásticos e outros combustíveis.

Material	Poder calorífico (MJ/Kg)
Polietileno	43,3-46,5
Polipropileno	46,5
Poliestireno	41,9
Querosene	46,5
Petróleo	42,3
RSU	31,8

Fonte: CALHEIROS 2017 p.41

Essa técnica requer um grande cuidado na sua implantação, pois de acordo com FRAGA (2014), uma falha na sua implantação pode gerar uma série de problemas, sendo um deles a emissão de compostos tóxicos, como dioxinas e furanos.

4.2 Pirólise

A pirólise, segundo Figueiredo *et al.* (2015) é um processo de decomposição de resíduos plásticos submetidos a altas temperaturas na ausência parcial ou total de oxigênio, onde se obtém como produto final líquidos, sólidos e gases, que podem ser usados como combustíveis ou reaplicados como matéria-prima em indústrias petroquímica.

O processo de pirólise pode ser definido como a degradação térmica de um material orgânico na ausência parcial ou total de um agente oxidante, ou em um ambiente com concentração de oxigênio capaz de evitar a gaseificação intensiva de um material orgânico (PEDROZA, 2011). O processo de pirólise também é aplicado no processo de reciclagem de materiais plásticos que, segundo Forlin e Faria (2002), “é uma opção de transformação energética de materiais plásticos que envolvem a decomposição térmica parcial, originando óleo combustível bruto, o qual pode ser utilizado como fonte de energia, ou transformado em outros produtos”. Já Fraga (2014) descreve o processo de pirólise de resíduos plásticos como a degradação de resíduos submetidos a altas temperaturas, onde ocorre a ruptura das moléculas iniciais em moléculas menores.

4.2.1 Processo Produtivo

De acordo com Conti² (2009 *apud* RODRIGUES *et al.*, 2014) para que ocorra o processo de pirólise é preciso submeter o sistema na ausência total ou parcial de oxigênio a uma fonte externa de calor, para que haja um aquecimento do processo de 300°C até uma temperatura superior a 1000°C. Conti² (2009 *apud* RODRIGUES *et al.*, 2014) ainda menciona que é possível fazer distinções em relação aos parâmetros de operação do processo pirolítico, como tempo de residência dos resíduos e temperatura a qual o processo é submetido.

Há alguns fatores que devem ser considerados em um processo de pirólise. Segundo Vieira e Alexandre (2014), o processo de pirólise pode ser classificado em pirólise lenta e pirólise rápida dependendo do tempo de residência do material no reator. De acordo com Niessen³ (1995, *apud* GONÇALVES, 2007) o processo de pirólise pode ser controlado de acordo com a taxa de aquecimento do material. Algumas variáveis do processo como o tamanho das partículas, velocidade do gás, tempo de pirólise, etc., podem gerar perturbações no sistema prejudicando sua eficiência. Outro fator importante é a escolha do reator. Segundo

² CONTI, Leonetto. **La pirolisi: oil processo, I punti di forza, le opportunità**. Università degli Studi di Sassari, Itália 2009

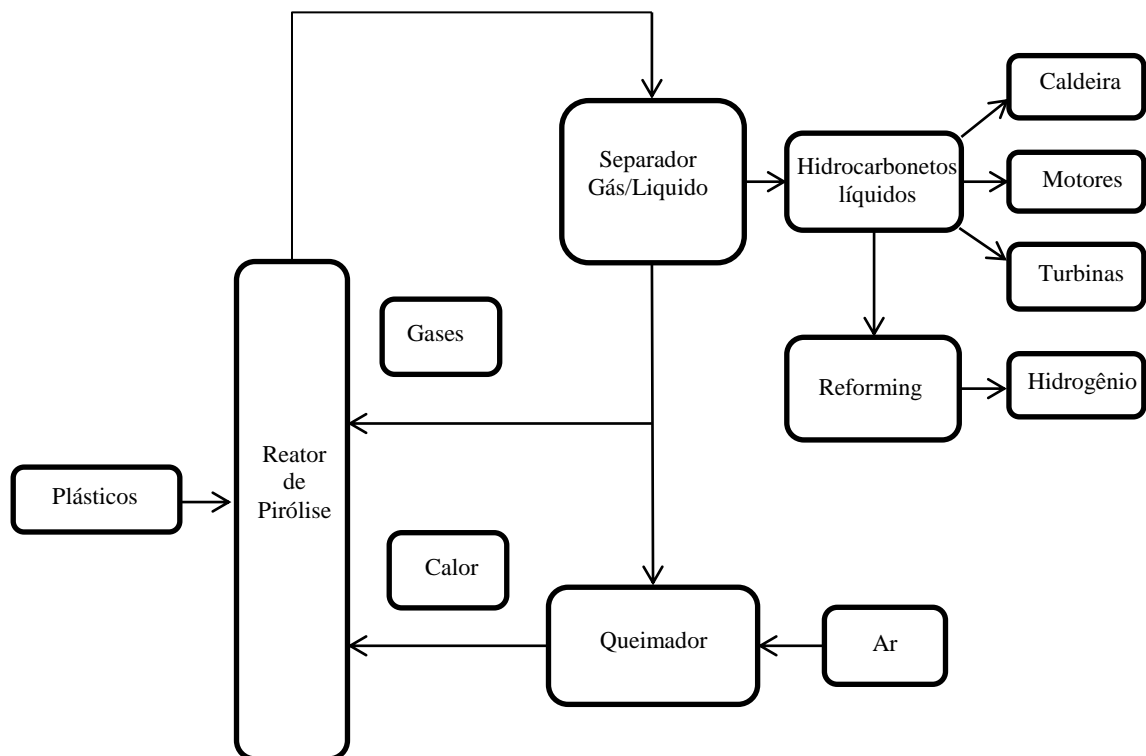
³ NIESSEN, W. R. **Combustion and incineration processes: applications in environmental engineering**. N. Y: M. Dekker, 1995.

Sharuddin *et al.* (2018), “além da temperatura, a seleção correta do reator para o processo também é crucial para aumentar a eficiência da reação e alcançar o produto final desejado”.

Júnior (2017) explica que o processo de pirólise de materiais plásticos conduzidos a uma elevada temperatura pode gerar como produtos finais óleos e gases, os quais podem ser purificados através do processo de destilação ou de outros métodos petroquímicos. Al-Salem, Lettiere e Baeyens⁴ (2009, *apud* PEREIRA, 2016) também menciona que a reciclagem do plástico através do processo de pirólise gera uma mistura de produtos contendo entre eles hidrocarbonetos de diversos tamanhos de cadeia. Costa (2006) cita que alguns produtos resultantes da pirólise do plástico em estado gasoso, quando formados por hidrogênio e hidrocarbonetos, podem ser utilizados na produção de energia. Os resíduos carbonosos podem ser reaproveitados na indústria de aço, na produção de carvão ativado, entre outros.

A FIG. 2 demonstra um esquema de um processo de pirólise de resíduos plásticos, apresentado por Costa (2006, p.28).

Figura 2- Diagrama do processo de pirólise de resíduos plásticos.



Fonte: COSTA 2006.

⁴ AL-SALEM, S.M., LETTIERI, P and BAEYENS, J. **Recycling and recovery routs of plastics solid wastes (PSW): A review.** Waste Management, 2009.

Como apresentado na FIG. 02, após o processo de pirólise os produtos obtidos são direcionados a um separador, onde parte da fração líquida e gasosa é aplicada como fonte de aquecimento secundário para o reator utilizado no processo. Já a outra fração de hidrocarbonetos líquidos pode ser reaproveitada diretamente como combustível para caldeiras, motores, turbinas ou podem ser submetidos em processos posteriores (COSTA, 2006).

Agrado e Serrano⁵ (1999, *apud* COSTA, 2006, p. 30) mencionam que “os reatores mais usados na decomposição térmica de materiais plásticos são: reatores com agitação, fornos rotativos, reatores de leito fixo, reatores de leito fluidizado, reatores de leito circulante e extrusores de parafuso”. O QUADRO 3 apresenta algumas das principais características de alguns reatores de pirólise, descritos por Monteiro (2018).

Quadro 3 - Tipos de reatores de pirólise e características principais.

Tipo de Reator	Características particulares
Extrusora	Temperatura de operação limitada. É essencial que os produtos da decomposição sejam coletados antecipadamente.
Reator tubular	Reator simples
Reator de tanque com mistura, com possível aquecimento externo e/ou resfriamento.	Reator de fase líquida convencional. A agitação melhora a transferência de calor. Deve-se evitar o entupimento dos dutos a jusante
Reator vertical	Escoamento gravitacional.
Reator de leito fixo	Usado principalmente em reações catalíticas.
Reator com banho salino	O banho age com um agente de transferência de calor. Os resíduos se acumulam no topo da camada de sal, exigindo parada periódica para limpeza.
Reator de leito fluidizado	O leito age como um agente de transferência de calor, dispensando o plástico fundido em camadas finas. Os resíduos são carregados com os produtos, exigindo filtração rigorosa dos finos (pigmentos e preenchimentos).
Forno rotativo	Unidade simples, caracterizada por fluxo rotativo.

Fonte: MONTEIRO, 2018.

Moraes *et al.* (2015) descreve que os reatores usados para o processo de pirólise são compostos por três partes que são descritas a seguir:

- **Zona de secagem:** onde os resíduos que irão alimentar o reator passam por duas etapas, a pré-secagem e a secagem.

⁵ Agrado, J.; Serrano, D. **Feedstock Recycling of Plastic Wastes**. 1999.

- **Zona de pirólise:** onde ocorrerão as reações endotérmicas, sendo elas a volatilização, oxidação e a fusão. As temperaturas nesta fase variam de 300°C a 1600°C. É nessa fase que são coletados os produtos (álcoois, óleo combustível, etc.).
- **Zona de resfriamento:** nesta fase os resíduos gerados pelo processo são coletados no final do processo como cinzas e bio-óleo.

Segundo Figueiredo *et al.* (2015) as frações das composições de cada produto resultante do processo de pirólise dependem diretamente da natureza dos resíduos plásticos utilizados no processo. Kiran, Ekinici e Snape⁶ (2000 *apud* FIGUEIREDO *et al.*, 2015) com objetivo de recuperar petroquímicos brutos ou gerar energia a partir do processo de pirólise do plástico empregaram em seus estudos resíduos de polietileno (PE) e poliestireno (PS), concluindo que o processo recupera satisfatórios hidrocarbonetos. Já Dermibas⁷ (2004, *apud* FIGUEIREDO *et al.*, 2015) utilizou em seus experimentos de pirólise três diferentes resíduos plásticos, sendo o poliestireno (PS), polietileno (PE) e polipropileno (PP), com o objetivo de obter produto líquido. Dermibas concluiu que grande parte dos produtos líquidos obtidos podem ser processados em uma refinaria petroquímica e o produto gasoso ser aplicado como combustível.

4.2.2 Produtos obtidos

Willians e Besler⁸ (1996, *apud* SILVEIRA, 2015) mencionam que o processo de pirólise para reciclagem de resíduos sólidos urbanos, tem sido grande alvo de pesquisas por possuírem como produto final, líquidos com uma densidade de energia muito elevada, sendo possível ser aperfeiçoado para a produção de combustíveis limpos e produtos químicos. Aires *et al.*⁹ (2003, *apud* FIGUEIREDO *et al.* 2015) mencionam que os primeiros experimentos relacionados ao processo de pirólise foi desenvolvido por F. Winkler, em 1926 na Alemanha.

⁶ Kiran, N.; Ekinici, E.; Snape, C. **Recycling of plastic wastes via pyrolysis.** *Resources, Conservation and Recycling.* 2000.

⁷ Demirbas, A. **Pyrolysis of municipal plastic wastes for recovery of gasoline-range hydrocarbons.** *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis.* 2004.

⁸ WILLIAMS, Paul. T.; BESLER, Serpil. **The influence of temperature and heating rate on the slow pyrolysis of biomass.** *Renewable Energy*, v. 7, n. 3, p. 233-250, 1996.

⁹ Aires, R. D.; Lopes, L. T.; Barros, R. M.; Coneglian, C. M. R.; Sobrinho, G. D.; Tonso, S.; Pelegriani, R. **III Fórum de Estudos Contábeis**, Rio Claro, SP, Brasil, 2003.

De acordo com Figueiredo *et al.* (2015) há diversos estudos envolvendo o processo de pirólise do plástico, os quais mostram pesquisas envolvendo diversos polímeros como o polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), policloreto de vinila (PVC) e o polietileno tereftalato (PET). De acordo com Figueiredo *et al.* (2015), essa série de pesquisas tem o objetivo de obter produtos líquidos de elevado potencial energético que possam ser modificados para substituir derivados de petróleo além de reduzir resíduos de materiais plásticos.

4.2.2.1 Polietileno

O polietileno (PE) é um dos polímeros mais presentes em resíduos plásticos. Os tipos de polietileno mais utilizados são o polietileno de alta densidade (PEAD), que é altamente linear, necessitando ser submetido o processo de pirólise a elevadas temperaturas devido à sua difícil degradação, e o polietileno de baixa densidade (PEBD), que possuem ramificações em sua estrutura, ocorrendo sua degradação em temperaturas menores (Costa, 2006).

Bayler¹⁰ (1998, *apud* GONÇALVES, 2007) descreve que a etapa de decomposição do PEAD e do PEBD se inicia primeiramente pela quebra de ligações fracas e, à medida que ocorre o aumento de temperatura, se inicia a quebra das ligações de carbono terciárias. Kaminsky¹¹ (1985 *apud* Costa, 2006) apresentou resultados obtidos no processo de pirólise do PE, usando um reator de leito fluidizado com faixa de temperatura entre 650°C e 810°C. Esse experimento resultou na formação de hidrocarbonetos leves com uma porcentagem de olefinas (etileno, propileno, ciclopentadieno, etc.), compostos aromáticos e também na formação de quantidades significativas de metano e hidrogênio. Conessa *et al.*¹². (1994, 1997, *apud* Costa, 2006) também realizaram estudos sobre a degradação térmica de resíduos de PE usando um reator de leito fluidizado com temperaturas entre 500°C e 900°C. Seu experimento resultou na formação de uma fração gasosa (metano, etano, etileno, propano, propileno,

¹⁰ BAYLER, G. **Handbook of Fire Protection Engineering**, Society of Fire Protection Engineers (National Fire Association, Eds.) Quincy, MA, p.165-187, 1998.

¹¹ KAMINSKY, W. “**Thermal recyclig of polymers**”, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 8 (1985) 439-448.

¹² CONESSA, J.A. *et al.*, “**Comparison between the Pyrolysis of Two Types of Polyethylenes in a Fluidizes Bed Reactor**” *Energy & Fuels*, 11 (1997) 126-136.

CONESSA, J.A. *et al.*, “**Pyrolysis of Polyethylene in a Fluidized Bed Reactor**”, *Energy & Fuels*, 9 (1990) 735-742.

acetileno, butano, buteno, pentano, benzeno, tolueno, xileno e estireno) e em temperaturas mais baixas foram obtidas frações de líquido e alcatrões. Já nos estudos realizados por Williams e Williams¹³ (1997, *apud* Costa, 2006) foi analisado o processo de pirólise de resíduos de polietileno em um reator de leito fixo, sendo encontrados como produtos uma fração gasosa com elevados índices de etileno, propileno e buteno, e índices inferiores de metano, etano, propano e butano. Já a fração líquida encontrada, era formada por hidrocarbonetos alifáticos com um baixo teor de olefinas. Kumar e Singh¹⁴ (2011 *apud* JÚNIOR, 2017) realizam o experimento de pirólise em um reator semi-batelada a uma faixa de temperatura inferior a 550°C, utilizando apenas PEAD pós-consumo. Encontraram como principais produtos um líquido viscoso e uma cera sólida.

Costa (2006) estudou experimentos realizados por diversos autores, onde o processo de pirólise do PE foi realizado em diversos reatores, entre eles o reator de leito fluidizado, reator tubular, reator de leito fixo, reator de fluxo contínuo. Também foram analisados processos em batelada e com alimentação contínua, em variadas faixas de temperaturas, e chegou á conclusão que os produtos obtidos variam de acordo com a faixa de temperatura à qual o processo de degradação acontece, tipo de reator e o tempo de residência.

Figueiredo *et al.* (2015) mencionam que devido aos produtos obtidos pelo processo de pirólise, hidrocarbonetos que podem ser usados como combustíveis ou aplicados como matéria-prima, agrega-se valor aos resíduos de PE.

4.2.2.2 Polipropileno

De acordo com Júnior (2017) o Polipropileno (PP) é considerado um termoplástico, que é sintetizado a partir do gás propileno. Júnior (2017) também menciona que o PP apresenta uma alta resistência mecânica, o que possibilita que esse polímero substitua materiais convencionais como madeiras, metais, vidros, sendo que em algumas aplicações

¹³ WILLIAMS, Elizabeth A; WILLIAMS, Paul T. “**The pyrolysis of individual plastics and a plastic mixture in a fixed bed reactor**”, *Journal of Chemistry Technology and Biotechnology*, 70 (1997), 9-20.

¹⁴ KUMAR, S.; SINGH, R. K. “**Recovery of Hydrocarbon Liquid From Waste High Density Polyethylene By thermal pyrolysis**”. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, v. 28, n. 4, p. 659–667, 2011.

também é realizada a substituição do PE pelo PP. Agrado e Serrano¹⁵ (1999, *apud* Costa, 2006) descrevem que o PP possui em sua estrutura a presença do grupo metilo em cada segundo carbono da unidade repetitiva da cadeia. Com isso o PP possui uma velocidade de degradação térmica elevada quando comparada com o PE. O PP é considerado um material resistente e rígido, mas ainda assim, segundo Júnior (2017), possui uma fácil degradação oxidativa e pode ser facilmente moldado em novas aplicações.

Costa (2006) apresenta, em estudos realizados sobre o processo de pirólise do PP, que vários autores obtiveram em seus resultados a formação de frações de líquidos, gases, e resíduos sólidos. Hamid¹⁶ (2000, *apud* JÚNIOR, 2017) descreve que o processo de pirólise do PP leva a formação de produtos saturados e insaturados, o processo é formado através das etapas de iniciação, propagação, ramificação de cadeia e terminação.

O processo de pirólise do PP foi realizado por Kaminsky *et al.*¹⁷ (1995, *apud* COSTA, 2006) por meio de um reator de leito fluidizado a uma temperatura em torno de 740°C, em seus resultados foram obtidos cerca de 57% de gás (metano, etileno e propileno), a fase líquida encontrada foi de aproximadamente 40% formada por compostos alifáticos e aromáticos com quantidades significativas de tolueno e benzeno. Também foram obtidos uma pequena quantidade de resíduos sólidos. Walendziewski¹⁸ (2005, *apud* COSTA, 2006) realizou o estudo de degradação térmica do PP em um reator de fluxo contínuo, a uma faixa de temperatura de 420°C e 440°C. Seus resultados apresentaram uma fração de aproximadamente de 96,7% de hidrocarbonetos líquidos, uma fração gasosa de 1,1% e de resíduos sólidos cerca de 3,9%. Ao comparar seus resultados com estudos realizados com resíduos de PE em condições semelhantes, Walendziewski conclui que a pirólise do PP apresenta uma maior formação de fração líquida e uma menor formação de gases e resíduos sólidos. Também foi realizado estudos da pirólise do PP em um reator batelada, onde os resultados apresentados por Wong *et al.*¹⁹ (2000, *apud* JÚNIOR, 2017) mostram que em 90

¹⁵ AGRADO, J., SERRANO, D., “**Feedstock Recycling of Plastic Wastes**”, RSC Clean Technology Monographs, series editor James H. Clark, 1999, Cap. 4,73-117.

¹⁶ HAMID, S. H. “**Handbook of Polymer Degradation, Second Edition**”. [S.l.]: Taylor & Francis, 2000.

¹⁷ KAMISSKY, W., *et al.* “**Olefins from polyolefins and mixed plastics bypyrolysis**”, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 32 (1995),19-27.

¹⁸ WALENDZIEWSKI, Jerzy, “**Continuous flow cracking of waste plastics**”, Fuel Processing Technology, 86 (2005), 1265-1278.

¹⁹ WONG, S. L. *et al.* “**Current state and future prospects of plastic waste as source of fuel: A review**”. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 50, p. 1167–1180, 2015

minutos de reação a uma temperatura de 420°C, obteve-se uma conversão de 60% formando hidrocarbonetos, entre eles alcanos, alcenos e uma pequena parte de aromáticos e dienos.

Para Júnior (2017) assim como a temperatura e o tipo de reator, o tempo de reação também tem uma grande influência na produção de hidrocarbonetos. Já Costa (2006) menciona que processos executados em temperaturas mais elevadas dão origem a maiores frações de gases e processos operados em temperaturas inferiores levam a uma maior formação de líquidos.

4.2.2.3 Poliestireno

Segundo Júnior (2017) o Poliestireno (PS) é um material polimérico termoplástico rígido, incolor e inodoro, formado pela polimerização do estireno através de um mecanismo de reação convencional por radicais livres. Costa (2006) descreve que o processo de degradação do PS resulta principalmente em seu monômero estireno, independentemente da temperatura e do reator aplicado para o processo.

De acordo com diferentes pesquisas realizadas por Gonçalves (2007), o processo de pirólise do PS em temperaturas de 532°C a 708°C, resultou em uma fração líquida de aproximadamente 75% de estireno, 10% hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (tolueno, etilbenzeno, propenilbenzeno, propinilbenzeno e naftaleno). Foi formada uma fração de gases de aproximadamente 10%. Nesse processo não houve formação de cinzas. Walendziewski²⁰ (2005, *apud* COSTA, 2006) descreve os resultados obtidos pela degradação do PS, em um reator de fluxo contínuo com uma alimentação de 0,3 a 0,5 Kgh⁻¹, a uma faixa de temperatura de 420°C a 440°C. Seus resultados apresentaram uma fração de hidrocarbonetos líquidos de aproximadamente 95,7%, uma fração de hidrocarbonetos gasosos de aproximadamente 0,6% e a fração de resíduos sólidos encontrados por ele foi de aproximadamente 3,7%. Resultados de um processo de decomposição do PS foram descritos por Williams e Williams²¹ (1993,1999, *apud* COSTA, 2006) através de experimentos realizados em um reator

²⁰ JERZY WALENDZIEWSKI, “**Continuous flow cracking of waste plastics**”, Fuel Processing Technology, 2005

²¹ WILLIAMS, P. T., WILLIAMS, E. A., “**Polycyclic aromatic hydrocarbons in polystyrene derived pyrolysis oil**”, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 1993.
WILLIAMS, P.T., WILLIAMS, E.A “**Product composition from the fast pyrolysis of polystyrene**”, Environmental Technology, 1999.

descontínuo a 500°C. Eles submeteram a fração líquida obtida a um segundo processo pirólise em um reprocesso, ou seja, nas temperaturas de 500°C, 600°C e 700°C, onde se obteve como produtos estireno, benzeno, xileno, tolueno e um alto índice de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, a temperatura interferiu na concentração do processo, a concentração aumentava de acordo com o aumento da temperatura.

A partir de seus estudos Costa (2006) conclui que o PS é um dos poucos polímeros que pode ser despolimerizado termicamente, e que a melhor faixa de temperatura para se aplicar em um processo de despolimerização é de 400°C, pois apresenta uma maior formação de fração líquida.

4.2.2.4 Policloreto de Vinila

Classificado pela BRASKEM (2006) como o segundo termoplástico mais consumido no mundo, o Policloreto de Vinila (PVC) é um dos plásticos com a maior versatilidade pelo fato de sua resina poder ser modificada com a adição de aditivos até se adequar às características desejadas para determinada aplicação. Sua utilização vai desde a fabricação de embalagens e brinquedos até equipamentos para construção civil. A BRASKEM (2016) também menciona que o PVC é um material ambientalmente correto, pois sua estrutura molecular é formada por 57% de materiais obtidos através do sal marinho ou da terra (sal-gema) e 43% são obtidos por meio de fontes não renováveis como o petróleo, sendo um consumo mundial em torno de 0,25% de petróleo e gás destinado para a produção do PVC.

De acordo com Castro (2013) no processo de degradação térmica do PVC liberado ácido clorídrico, o que pode gerar a corrosão de equipamentos, limitando assim os métodos de reciclagem por degradação térmica desse material. Castro (2013) ainda menciona que o processo de degradação por pirólise ocorre por meio da quebra das ligações de cloro, levando à liberação desse composto, que pode ser recuperado na forma de ácido clorídrico ou cloreto. No final do processo ocorre a obtenção de produtos de reação com estruturas poliaromáticas e um resíduo rico em carbono que pode ser reaproveitado em um processo de adsorção.

Castro *et al.* (2013) realizaram experimentos da pirólise do PVC em escala piloto. O processo foi realizado por etapas. Na primeira fase do processo, realizada em uma faixa de temperatura de 400°C, ocorreu a quebra das ligações químicas C-CL do PVC, levando à

obtenção de ácido clorídrico concentrado e uma fração de resíduo composto por aproximadamente 89% de carbono. Já a segunda fase, considerada a etapa de valorização energética da etapa anterior, ocorreu em uma temperatura de aproximadamente 800°C, levando à geração de gás de síntese com alta presença de hidrogênio, possuindo um elevado valor combustível.

Castro (2013) menciona em seus estudos que seria de grande interesse testar diferentes matrizes de resíduos de PVC e avaliar o potencial econômico para se aprimorar o processo, pois são resíduos que apresentam um alto potencial de valorização energética, além de colaborar para a redução do volume de resíduos descartados de maneira inadequada.

4.2.2.5 Polietileno Tereftalato

O polietileno tereftalato (PET) é um polímero termoplástico que, de acordo com JÚNIOR (2017), “é produzido industrialmente por meio da esterificação direta do ácido tereftálico com etileno glicol em um processo de policondensação conduzido em massa a alta temperatura e pressão, seguido de polimerização em estado sólido”. Awaja e Pavel²² (2005, *apud* FIGUEIREDO *et al.*, 2015) descreve que o PET possui estrutura linear e possui propriedades como facilidade de moldagem, leveza, brilho, transparência, além de ser inodoro, atóxico e inerte. Tais propriedades dependem do seu nível de cristalinidade. Romão *et al.*²³ (2009, *apud* FIGUEIREDO, 2015) também citam características do PET como: alta resistência mecânica, térmica e química, pode ser apresentado em um estado transparente (amorfo), translúcido (semicristalino e orientado) ou opaco (altamente cristalino).

Segundo Júnior (2017) a pirólise do PET resulta na formação de diferentes grupos terminais na cadeia do polímero. Figueiredo *et al.* (2015) mencionam em seu trabalho que o processo de pirólise do PET tem como objetivo recuperar uma série de produtos químicos. Cit *et al.*²⁴ (2010, *apud* JÚNIOR, 2017) aplicaram resíduos de PET em um reator tubular em diferentes faixas de temperatura, onde se obteve como resultados: gases, óleo de pirólise e

²² AWAJA, F.; PAVEL, D. “Recycling of PET. *European Polymer Journal*” 2005.

²³ ROMÃO, W., *et al.* “Poly(ethylene terephthalate) thermomechanical and thermo-oxidative degradation mechanisms. *Polymer Degradation and Stability*”. 2009.

²⁴ CIT, I. *et al.* “Comparative pyrolysis of polyolefins (PP and LDPE) and PET”. *Polymer Bulletin*, v. 64, n. 8, 2010.

resíduos sólidos. Porém á medida que a temperatura se eleva, aumenta a fração de gases formados, mas em todos casos a fração líquida se manteve superior. Nos resultados apresentados por Cit *et al.*²⁵ (2010, *apud* JÚNIOR, 2017) houve formação de acetaldeído, CO, CO₂, etileno água, metano e observou-se também a formação de produtos secundários como ácido benzoico e benzoato de vínila. Já Figueiredo *et al.* (2015) realizaram o processo de pirólise do PET em um forno tubular, com temperaturas de 200°C a 700°C, onde se obteve a formação de monóxido de carbono, dióxido de carbono, acetaldeído, acetofenona, hidrocarbonetos alifáticos e benzeno.

O processo de pirólise do PET gera uma grande obtenção de produtos químicos que, de acordo Figueiredo *et al.* (2015), podem ser aplicados em indústrias petroquímicas para uma nova produção do PET, ou podem ser aplicados como matéria-prima na produção materiais, como solventes, tintas, entre outros.

4.2.3 Pirólise de resíduos plásticos no Brasil

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais²⁵ (ABRELPE, 2015, *apud* LEME, FERNANDES e LOPES, 2017) no Brasil existe uma grande distribuição de resíduos plásticos depositados de maneira inadequada em aterros ou lixões, nos quais esses rejeitos não recebem tratamentos adequados. De acordo com Leme, Fernandes e Lopes (2017) o governo federal adotou metas e ações, apresentada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, cujo objetivo é o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos urbanos. Leme, Fernandes e Lopes (2017) também mencionam que em meio a tantas preocupações é preciso aplicar novas maneiras de tratar os resíduos plásticos para reduzir o uso de aterros e lixões, e uma boa opção é o reaproveitamento energético a partir de técnicas como a incineração, biodigestão e a pirólise.

Vários estudos mostram que o processo de pirólise para tratamento de resíduos plásticos, é ecologicamente correto, pois possibilita à extração de diversos subprodutos que podem ser reaproveitados em diversos setores. O processo de pirólise também possibilita a redução de poluentes como gás carbônico e metano, além de ser uma alternativa interessante

²⁵ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. 2015.

para uma futura substituição dos aterros sanitários e da incineração do lixo (PENSAMENTO VERDE, 2013). Downie²⁶ (2010, *apud* LEME, FERNANDES e LOPES, 2017) ressalta que o processo de reciclagem por pirólise é capaz de reduzir em até 90% o volume do resíduo utilizado na alimentação do processo.

Machado (2014) explica que muitos autores pretendem desenvolver um método de implantar o processo de pirólise para reciclagem de resíduos plásticos em grandes usinas, onde o combustível poderia ser gerado a partir de uma quantidade maior de resíduos, obtendo-se um melhor custo em relação ao processo de produção convencional da gasolina. Já Leme, Fernandes e Lopes (2017) chegaram à conclusão que no Brasil o processo de pirólise é altamente estudado, e é um processo sugerido para reciclagem de diversos materiais, porém existem dificuldades de aplicação em larga escala, pois para uma grande aplicação é preciso vencer barreiras que dificultam o processo, como dimensão territorial, políticas predominantemente brandas, falta de um quadro político de incentivo, etc.. Com isso acaba gerando uma inviabilidade do processo.

4.3 Viabilidade econômica

De acordo com Zago, Weise e Hornburg (2009) o estudo de viabilidade econômica e financeira é desenvolvido principalmente por profissionais das áreas de economia e engenharia, e tem como objetivo verificar as vantagens ao se realizar um determinado investimento a fim de verificar o potencial econômico de um projeto. Já Wensing *et al.* (2018) descrevem o estudo da viabilidade econômica e financeira como a etapa do projeto que avalia o potencial econômico da implantação de uma empresa, por meio da aplicação de indicadores financeiros, que mostram se o investimento dará retorno ou não ao investidor.

Casarotto Filho e Kopittke²⁷ (1994, *apud* ZAGO, WEISE E HORNBURG, 2009) explicam que a execução de um projeto deve-se levar em consideração os critérios descritos a seguir:

- **Critérios econômicos:** lucros do investimento.

²⁶ DOWNIE, A. *Pacific pyrolysis*. 2010

²⁷ CASAROTO FILHO, N.; KOPITKE, B. H. *Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão e estratégia empresarial*. 6. ed. ,Atlas, 1994.

- **Crêterios financeiros:** disponibilidade de recursos.
- **Crêterios imponderáveis:** fatores não conversíveis em dinheiro.

Indicadores financeiros apresentam grande importância para verificar a viabilidade de um projeto econômico. Segundo Borges (2013) para se ter uma melhor visão da rentabilidade e segurança de um projeto econômico o qual será realizado um investimento,   essencial realizar a proje o de receitas, custos e investimentos, além de analisar indicadores de viabilidade, como por exemplo o Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Payback, etc.

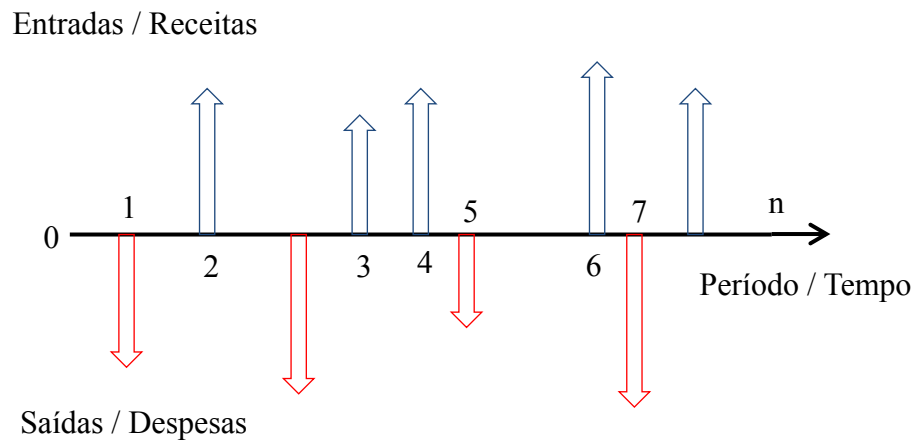
4.3.1 Fluxo de caixa e fluxo de caixa descontado

O SEBRAE (2019) descreve o fluxo de caixa como uma ferramenta de planejamento e controle financeiro, que tem como objetivo contabilizar e projetar o saldo disponível de uma institui o para manter um capital de giro para possíveis investimentos e despesas. Um controle de fluxo de caixa   feito com o registro das seguintes informa es apresentadas pelo SEBRAE (2019):

- **Registro de todos os recebimentos:** vendas   vista e a prazo, recebimento de duplicatas, entre outros.
- **Pagamentos:** compras   vista e a prazo, pagamentos de duplicatas, pagamentos de despesas e outros pagamentos.
- **Previstos:** registro de até o último pagamento e recebimento conhecido ou o máximo de horizonte adequado às necessidades da empresa.

Já Filho e Kopittke (2010) mencionam o fluxo de caixa como um problema incluindo receitas e despesas em momentos de tempo diferentes, que podem ser representados por meios de planilhas, ou através de diagramas que   considerado uma maneira simplificada para um melhor entendimento. A FIG. 3 demonstra um esquema de um diagrama de fluxo de caixa apresentado por De Paula (2013) onde   demonstrada a posi o financeira de uma empresa em um determinado período de tempo, através de receitas e despesas.

Figura 3- Diagrama representativo fluxo de caixa.



Fonte: De Paula (2013).

Segundo o SEBRAE (2019), o fluxo de caixa é de grande importância para um gestor, pois proporciona uma visão ampla do presente e do futuro do caixa de uma empresa, sendo possível verificar a disponibilidade de caixa e a liquidez da empresa, podendo levar o empreendedor a tomadas de decisões, sendo possível projetar estratégias antecipadas para a evolução da empresa ou reverter situações adversas.

Já Camargo (2018) menciona a grande importância do Fluxo de Caixa Descontado FCD, que é descrito como uma técnica de fluxo de caixa que trabalha com o valor do dinheiro no tempo, ideal para tomada de decisões em longo prazo. Endler (2004) descreve que o método de fluxo de caixa descontado baseia-se na seguinte teoria “o valor de um negócio depende dos benefícios futuros que ele irá produzir, descontados para um valor presente, através da utilização de uma taxa de desconto apropriada, a qual reflita os riscos inerentes aos fluxos estimados”. Camargo (2018) também salienta que o FCD leva em consideração projeções de fluxo de caixa e descontos, que são aplicados para fazer uma estimativa do valor presente, a qual é empregada para verificar o potencial do investimento, riscos apresentados e possível retorno. Martelanc; Pasin e Cavalcante²⁸ (2005, *apud* BILHAR, 2012) explicam que para se considerar um investimento viável através do FCD, é preciso analisar se o fluxo de entradas apresentou resultado maior que o fluxo de saídas, assim quando o FCD apresentar resultado positivo o projeto apresenta potencial econômico para o investidor.

²⁸ MARTELANC, Roy; PASIN, Rodrigo; CAVALCANTE, Francisco. **Avaliação de empresas: um guia para fusões & aquisições e gestão de valor**. São Paulo: Pearson Prentice Hall. 2005

Titman e Martin²⁹ (2010, *apud* BILHAR, 2012) ressaltam a importância de uma análise correta do FCD para um projeto de viabilidade econômica, com isso eles apresentam métodos para facilitar o entendimento da análise do FDC, que são apresentados no Quadro 4:

Quadro 4 - Passos para execução de uma análise de fluxo de caixa descontado.

Passos	Avaliação do investimento
Passo 1: Projetar o valor e o cronograma dos fluxos de caixa futuros. <i>“Quanto se espera que o projeto gere em termos de caixa e quanto.”</i>	Projete os fluxos de caixa livre futuros do projeto (FCLP).
Passo 2: Estimar uma taxa de desconto apropriada ao risco. <i>“Quão arriscado são os fluxos de caixa futuros e o que os investidores esperam receber por investimento com riscos semelhantes?”</i>	Considere a taxa de desconto da dívida e do acionista (custo médio ponderado de capital, WACC).
Passo 3: Descontar os fluxos de caixa. <i>“Qual é o valor presente equivalente dos fluxos de caixa futuros esperados?”</i>	Desconte o FCLP utilizando o WACC para estimar o valor do projeto como um todo.

Fonte: Titman e Martin²⁹ (2010, *apud* BILHAR, 2012).

De acordo com Camargo (2018) o FCD não é aplicado de maneira isolada, sua análise é combinada com métodos como a Taxa Interna de Retorno e o Valor Presente Líquido, entre outros indicadores financeiros.

4.3.2 Taxa mínima de atratividade (TMA)

Taxa Mínima de Atratividade também conhecida como (TMA) é descrita por Filho e Kopittke (2010) como uma taxa a qual um investidor acredita que está alcançando ganhos financeiros. Já Camargo (2017) determina a TMA como “o mínimo que um investidor se propõe a ganhar, ou ao máximo que alguém se propõe a pagar ao se realizar um financiamento”.

²⁹ TITMAN, Sheridan; MARTIN, John D. **Avaliação de projetos e investimentos - Valuation**. São Paulo: Bookman, 2010.

Segundo Filho e Kopittke (2010) a TMA é uma taxa que apresenta um baixo risco e uma alta liquidez, e para uma melhor análise do investimento é interessante comparar a TMA com a Taxa Interna de Retorno de um investimento. Costa (2018) descreve três componentes essenciais que compõem a TMA:

- **Custo de oportunidade:** São as remunerações que serão descartadas para a realização do investimento, como por exemplo, cadernetas de poupança, títulos de tesouro, etc.
- **Risco de negócio:** O ganho tem que remunerar o risco pertinente à ação. É imprescindível compreender que quando maior o risco, maior é o retorno financeiro esperado.
- **Liquidez:** Velocidade em que se pode sair de uma posição no mercado para assumir outra, em outras palavras, é onde será analisada a velocidade de conversão do investimento em caixa.

Costa (2018) também destaca que para verificar a viabilidade de um projeto é preciso que a TMA seja comparada com outros métodos como Valor Presente Líquido e a Taxa Interna de Retorno, a viabilidade de um projeto é confirmada quando o valor da TIR apresenta resultado superior ao valor da TMA.

4.3.3 Valor presente líquido (VPL)

Carvalho (2017) descreve o Valor Presente Líquido (VPL) como uma ferramenta utilizada para verificar a viabilidade de um investimento, onde se leva em consideração pontos como investimento inicial, tempo de investimento, fluxo de caixa e o retorno em um determinado período. Camargo (2017) menciona que o VPL consiste em trazer para o presente, fluxos de caixa futuro de um projeto econômico e somá-los ao valor do investimento, aplicando a TMA como taxa de desconto.

Bilhar (2012) explica que o valor do VPL pode ser calculado através de programas computacionais ou através de equações. A EQ. 1 apresentada por Sviech e Mantovan (2013) é utilizada para se determinar o valor do VPL:

$$VPL = -I_0 + \sum_{j=0}^n \left(\frac{FC_j}{(1+i)^j} \right) \quad (1)$$

Onde:

- **VPL**: valor presente líquido descontado a uma taxa i ;
- **I_0** : investimento inicial;
- **n** : números de períodos do fluxo;
- **FC_j** : é um fluxo genérico para $t = [0...n]$ que pode ser positivo (ingressos) ou negativo (desembolsos) t ;
- **i** : taxa de desconto;
- **j** : é o período genérico ($j = 0$ a $j = n$), percorrendo todo fluxo de caixa.

De acordo com Sviech e Mantovan (2013) o VPL é um método de analisar a viabilidade de um investimento, tendo como critério aceitar ou rejeitar um projeto. Sviech e Mantovan (2013) também apresentam os seguintes critérios que devem ser considerados para se analisar a viabilidade a partir do VPL:

- **VPL > 0**: Significa que o investimento é economicamente atrativo, pois o valor presente das entradas de caixa é maior que o valor presente das saídas de caixa.
- **VPL = 0**: O investimento é indiferente, uma vez que o valor presente das entradas de caixa é igual ao valor presente das saídas de caixa.
- **VPL < 0**: Indica que o investimento não é economicamente viável, já que o valor presente das entradas de caixa é menor que o valor presente das saídas de caixa.

Segundo Santos e Vasani (2014) o VPL é um método em que muitas vezes não apresenta resultado com por cento preciso, pois em muitos casos podem surgir imprevistos que causam queda nas receitas do projeto, sendo isso uma desvantagem desse método. Porém como vantagem, Santos e Vasani (2014) mencionam que o VPL apresenta a quantidade de dinheiro que o investimento irá produzir. Já Camargo (2017) cita vantagens que levam investidores a escolherem o VPL como uma boa análise de viabilidade econômica, como considerar o dinheiro no tempo, verificar se o investimento aumentará o custo da empresa, leva em consideração quando o investimento começará apresentar retorno, além de mostrar a inviabilidade de um investimento quando projeções apresentam resultados desfavoráveis. Camargo (2017) também menciona algumas das desvantagens do VPL, entre elas está a imprecisão, pois o método pode apresentar variações, outra desvantagem é ao se realizar comparações entre dois projetos de tamanhos diferentes, e também o VPL tem a necessidade

de outros indicadores complementares como, por exemplo, a Taxa Interna de Retorno, para ser possível fornecer os ganhos do investimento.

4.3.4 Taxa interna de retorno (TIR)

Campos³⁰ (2007, *apud* SANTOS e VASAN, 2014) descreve a Taxa Interna de Retorno (TIR) como uma taxa de juros de um investimento no qual se iguala o VPL à zero, ele também menciona que essa taxa apresenta características importantes em um processo de análise de viabilidade econômica, pois é um método satisfatório para identificar o risco de um projeto. Para Evangelista³¹ (2006, *apud* SVIECH e MANTOVAN, 2013) a TIR demonstra “a rentabilidade interna de um projeto, obtida pelo desconto do fluxo de caixa, observado nos períodos de análise e que anule o valor do investimento inicial”.

De acordo com Buarque (1984) a TIR pode ser aplicada na comparação de projetos distintos entre si, o projeto que apresentar uma TIR superior ao custo de oportunidade do capital, demonstra um resultado satisfatório para o projeto. Buarque (1984) ainda menciona que a TIR mostra a rentabilidade do projeto, e quanto maior for seu resultado, mais atraente é o projeto e mais vantagens ele apresenta.

Segundo Gitman³² (2002, *apud* SVIECH e MANTOVAN, 2013) a TIR é uma taxa de desconto que faz o VPL se igualar a zero, e pode ser obtida matematicamente através da EQ.2:

$$0 = -I_0 + \sum_{j=0}^n \left(\frac{FC_j}{(1+i)^j} \right) \quad (2)$$

Onde:

- FC_j: Valor presente das entradas de caixa;
- I₀: Investimento inicial;
- i: Taxa de interna de retorno;

³⁰ CAMPOS, S. C. W. **Matemática financeira simplificada para concursos**. São Paulo: Elsevier, 2007.

³¹ EVANGELISTA, M. L. S. **Estudo comparativo de análise de investimentos em projetos entre o método vpl e o de opções reais: o caso cooperativa de crédito - Sicredi Noroeste**. 163 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006

³² GITMAN, L. J. **Princípios da Administração Financeira**. 7 ed. São Paulo: Harbra, 2002.

- j: Tempo de desconto de cada entrada de caixa;
- n: tempo de desconto do último fluo de caixa.

A TIR assim como quaisquer outros indicadores financeiros apresentam vantagens e desvantagens, que de acordo com Camargo (2017), esse indicador apresenta pontos positivos como sua fácil interpretação que facilita a comparação entre diferentes projetos, apresenta a rentabilidade de um projeto, possui uma alta aceitação por ser expressa em percentual, fácil aplicação em programas computacionais o que torna seus cálculos mais rápidos e eficientes. Camargo (2017) também descreve as desvantagens da TIR, como não apresentar os riscos que o investimento está sujeito para gerar retorno, pois a TIR demonstra apenas o retorno esperado e não possíveis perdas, quando o projeto não apresenta fluxo de caixa uniforme poderá se encontrar múltiplas taxas de retorno; a TIR assim como alguns outros indicadores exige uma grande atenção ao estimar os custos iniciais, pois isso pode trazer prejuízos futuros.

Assim como outros métodos a TIR apresenta critérios de análises que Sviech e Mantovan (2013) descrevem que o método é usado para tomar decisões de aceitar ou rejeitar um investimento e a análise de um projeto a partir da TIR é realizada comparando-a com a TMA. Sviech e Mantovan (2013) demonstram as possíveis interpretações dos resultados:

- **TIR>TMA:** Significa que o investimento é economicamente viável;
- **TIR = TMA:** O investimento está em uma situação econômica de indiferença;
- **TIR<TMA:** O investimento não é economicamente atrativo.

Para Schroeder *et al.* (2005, *apud* SVIECH e MANTOVAN, 2013), quando a TIR apresenta resultado superior a TMA o investimento deve ser considerado aceito, pois o investimento supera seus custos de projeto e é capaz de pagar o custo de capital.

4.3.5 Payback

Segundo Colpo; Medeiros e Weise (2016) o *payback*, também conhecido como Período de Recuperação do Investimento (PRI), é um método aplicado no processo de viabilidade econômica com a finalidade de verificar o tempo necessário para se resgatar o capital aplicado em um determinado projeto. Santos e Vasan (2014) mencionam que o

payback é uma ferramenta simples e bastante utilizada, e que o tempo de retorno é determinado a partir das entradas de caixa da empresa.

A avaliação de um projeto a partir do payback deve ser aceita segundo Mota e Calôba³³ (2002, *apud* BILHAR, 2012) quando apresentar resultado menor que o tempo definido e esperado e pelo investidor. Santos e Vasan (2014) descreve o payback como uma ferramenta de fácil aplicação e avaliação, que pode ser aplicado por grandes e pequenas empresas. Santos e Vasan (2014) também explicam que quanto maior o resultado encontrado no cálculo do payback, maior será o tempo de retorno do investimento o que apresenta um risco de resgate do capital aplicado, já quanto menor o tempo encontrado no cálculo do payback maior as chances de retorno do investimento.

O payback pode ser calculado de acordo com Gonçalves (2018) por meio de uma simples equação matemática que envolve o investimento inicial e o fluxo de caixa. A EQ. 3 descreve o método de se calcular o payback apresentado por Gonçalves (2018):

$$PB = \frac{\textit{investimento inicial}}{\textit{resultado do fluxo de caixa com o ganho do investimento}} \quad (3)$$

Assim como outras ferramentas utilizadas para analisar a viabilidade de um projeto, o payback, segundo Batista (2019) depende do auxílio de outras variáveis, que podem influenciar no resultado, mas é um método que possui vantagens, como fórmula com fácil compreensão; mostra o tempo necessário para que um projeto comece a ter retorno; auxilia na verificação da viabilidade de projeto onde se pode ter uma noção do risco do investimento. Silva (2018) descreve algumas desvantagens do método como não considerar o dinheiro no tempo assim não possuindo uma alta exatidão; projetos com longos prazos tendem a ser mal avaliados; não considera o fluxo de caixa após o período de retorno do investimento; não considera a rentabilidade do projeto o que pode levar a seleção incorreta do investimento.

³³ MOTTA, Regis da Rocha; CALÔBA, Guilherme Marques. **Análise de Investimentos: tomada de decisão em projetos industriais**. São Paulo: Atlas, 2002.

Já o payback descontado segundo Pereira, Costa e Costa³⁴ (2012, *apud* Santos e Vasan, 2014), ele corrige uma das desvantagens do payback simples descrito anteriormente, nesse método é considerado em seu cálculo o dinheiro no tempo. Pereira, Costa e Costa³⁴ (2012, *apud* Santos e Vasan, 2014), ainda mencionam que no cálculo payback descontado é levado em consideração mudanças que podem ocorrer com o dinheiro no futuro, assim oferecendo menos risco ao investimento quando comparado ao payback simples. Gonçalves (2018) descreve que o payback descontado considera taxas de desconto como, por exemplo, a TMA e essas taxas que podem ser mensal ou anual, O cálculo do payback descontado também é descrito por Gonçalves (2018) como semelhante ao simples, à única diferença é que se leva em consideração a taxa de desconto em todos os fluxos de caixa, que são trazidos para o valor presente.

O payback possui vantagens em relação ao payback simples que são descritas por Pereira, Costa e Costa³⁴ (2012, *apud* Santos e Vasan, 2014) como maior praticidade e com sua aplicação também é possível se medir os riscos do investimento.

³⁴ PEREIRA, A S. P.; COSTA, L. G. T. A.; COSTA, L. R. T. A. **Análise de Investimento**. Curitiba: E IESDE, 2012.

5 METODOLOGIA

Para se realizar o estudo sobre a viabilidade econômica da produção de combustível pelo processo de pirólise de resíduos plásticos, buscou-se obter informações sobre o respectivo assunto em artigos, livros, reportagens, teses, entre outras fontes que constam informações relevantes relacionadas com o tema, muitos dados também foram obtidos através de sites acadêmicos. Com base no estudo prévio realizado foi possível obter informações importantes sobre máquinas e equipamentos, materiais, produtos obtidos e também perceber a necessidade de realizar estudos relacionados com o respectivo tema, pois mesmo sendo uma proposta interessante e inovadora ainda apresenta um número restrito de pesquisas e aplicações.

Ao se desenvolver uma planta para se produzir combustíveis através do processo de pirólise de resíduos plásticos, é necessário levar em consideração uma série de fatores como o tipo de reator, material a ser reciclado, produção diária desejada, mão de obra, entre outros pontos fundamentais. Com a determinação de tais variáveis é possível verificar o retorno do investimento com auxílio das ferramentas de viabilidade econômica. É apresentado através do QUADRO 5 as fontes onde foram obtidas informações relevantes para o desenvolvimento do trabalho.

Quadro 5 - Fonte de informações consideradas.

Item	Descrição	Fonte
Investimento Inicial	Planta de pirólise modelo B-20C com capacidade de 20 t/ batelada	B2 Brasil (2019)
Custos Operacionais	Matéria Prima	CEMPRE (2019)
	Manutenção de equipamentos.	Freitas e Filho (2005)
	Impostos	Receita Federal (2019)
	Energia elétrica	Cemig (2019)
	Aluguel	Viva Real (2019)
	Custo mão de obra	Sindicato dos Trabalhadores nas Indústrias Químicas, Plásticas e Farmacêuticas de Belo Horizonte e região (2019).

Fonte: Própria autora (2019).

É interessante submeter os produtos obtidos pelo processo de pirólise em etapas posteriores, onde pode ocorrer o refino do produto assim alcançando um combustível com a qualidade desejada. Sabendo dessa necessidade uma das alternativas é a implantação de equipamentos capazes de realizarem a purificação do óleo de pirólise juntamente com o reator de pirólise. Como já foi dito anteriormente é um processo que apresenta poucas aplicações principalmente no Brasil, então não há muitos relatos sobre a garantia do retorno financeiro. Devido à dificuldade de obter informações, e também sobre os fatores citados, neste trabalho será considerada a implantação de uma fábrica de pirólise de plástico/borracha modelo B-20C com capacidade de até 20 toneladas por batelada. A planta considerada irá possuir 2 reatores de pirólise, 2 separadores de óleo pesado e gasolina, 8 queimadores de gás de pirólise, ventiladores de alta pressão, 2 queimadores a óleo, conjunto de tubulação de gás compensador, 1 tanque de óleo leve, painel de controle e sensores, sistema de descarregamento e outros acessórios.

O custo de investimento inicial da planta será de U\$195.000,00 considerando a conversão para o real com o dólar do dia 24/08/2019 que fechou em R\$ 4,09 fornecido pelo Banco Central do Brasil e se aplicando um fator de 4,88 fornecido por Kinnie (2018), referente aos custos com transportes, construção e instalação, comissionamento e supervisão de obra, equipamentos e materiais elétricos e custo com instrumentação e controle, entre outros, totalizando em R\$3.892.044,00. Sobre o equipamento adquirido é importante levar em conta sua depreciação ao longo do tempo, sendo considerado neste trabalho o método de depreciação linear e um tempo de vida útil de 10 anos, totalizando um valor anual de R\$79.755,00.

Será considerada despesas descritas por Caibre *et al.* (2016) como custos operacionais com matéria prima, mão de obra, impostos, equipamentos gerais, despesas diversas (materiais de escritório e limpeza, água, telefone, etc.) e documentos para legalização. É de grande importância considerar gastos diversos na implantação de um projeto, pois assim se alcançam resultados mais precisos sobre a viabilidade do projeto. Para despesas diversas estimou-se um valor de R\$2.300,00 por mês.

Em resultados divulgados por pesquisa, demonstram o polietileno como o material plástico mais consumido no ano de 2017, por esse motivo e também por apresentar resultados satisfatórios no processo de pirólise, acredita-se ser ideal aderir o polietileno como principal matéria prima para o processo (AFINKO SOLUÇÕES EM POLÍMEROS, 2018). Por meio de

pesquisas obteve-se valores para compra de resíduos plásticos no Brasil, com isso será considerado para os cálculos o valor médio de R\$1.400,00 por tonelada de plástico limpo e prensado, o valor apresenta variações de acordo com estados. Considerando a compra de matéria prima de acordo com a capacidade de 20 toneladas da planta, será adquirido por mês 400 toneladas de plástico, totalizando R\$560.000,00 mensais.

Será considerada uma batelada por dia com o tempo médio de pirólise de 6 horas conforme orientação da fabricante. Desta forma estima-se uma jornada de trabalho comercial de 44 horas semanais, contando com 7 funcionários, sendo 1 para o setor administrativo, 1 gerente e 5 para o setor operacional. Os funcionários do setor administrativo e operacional receberão salário de R\$1.179,20 por mês, valor previsto pelo Sindicato dos Trabalhadores nas Indústrias Químicas, Plástica e Farmacêuticas de Belo Horizonte para o ano de 2019, já o encarregado pela gerencia receberá um salário de R\$4.000,00 por mês, totalizando uma folha de pagamento mensal de R\$11.075,20. Para encargos trabalhistas será considerada uma projeção de 41,64% sobre o total dos salários destinados a encargos como INSS, FGTS, férias, multa rescisória e verbas indenizatórias, afastamentos, entre outras despesas não esperadas, totalizando R\$4.611,71 por mês.

Estima-se também um valor de R\$5.384,40 mensais para energia elétrica que contempla o funcionamento da planta de pirólise, sendo 10 lâmpadas de led para iluminação do galpão e também equipamentos do escritório. Para se chegar ao valor de energia elétrica adotou-se o valor fornecido pela Cemig (2019) de R\$0,84 kW/h, nesse valor já se considera impostos como PIS, COFINS e ICMS, que são pagos sobre o consumo mensal de eletricidade. Também é necessário estimar despesas com manutenção de máquinas e equipamentos, Freitas e Filho (2005) consideram para indústrias químicas uma taxa de 5% sobre o faturamento mensal destinado para manutenção, assim alcançando um valor mensal de R\$45.234,51.

No respectivo trabalho não está considerando a região de implantação da planta e também não é levado em conta custos com aquisição de terreno e construções, apenas adequações para as instalações das máquinas e equipamentos, porém considera-se o valor aproximado de locação de um galpão localizado em Belo Horizonte no valor R\$7.000,00 por mês. É considerado o valor de locação de uma capital, pois é um projeto que pode ser implantado em diversas regiões brasileira, assim apresentando grandes variações de preços, em diferentes localidades.

Como o maior interesse deste trabalho é na fração líquida do processo, calculou-se a proporção de líquido produzida em cada lote de produção. Segundo Costa (2006) a pirólise do polietileno gera uma fração líquida média de 83%, assim alcançando em média 16.600 kg de líquido em cada batelada, sendo que 300 Kg desse líquido são consumidos como fonte secundária de aquecimento do reator segundo informações do fabricante, assim totalizando uma produção líquida de 16.300Kg por batelada e um total mensal de 326.000Kg. De acordo com Muniz (2004) a densidade do líquido pirolítico é de 910 Kg/m³, assim sendo possível calcular a produção em litros, que será de 358.241,76 L de óleo de pirólise por mês. Apesar de se obter produtos mais puros com o processo de destilação, inicialmente será considerada a venda somente do óleo de pirólise, que poderá ser usado como matéria prima para produção de novos produtos ou também como combustível para máquinas e equipamentos industriais.

Para se calcular o valor de venda de cada litro de óleo pirolítico, usou-se a calculadora de Markup, onde se estimou uma margem de lucro de 10% sobre as despesas encontrando um valor de R\$2,53 por litro de óleo de pirólise, totalizando assim um faturamento bruto de R\$904.690,13 por mês, para a venda de todo líquido produzido. Para verificar se o preço de venda está coerente com o preço de mercado, é feito a comparação de valores e do poder calorífico inferior (PCI) de diferentes combustíveis. De acordo com Cavalheiro (2017) o PCI do óleo de pirólise de polietileno é 10.342,03 Kcal/KG, a comparação pode ser observada através da TAB. 2.

Tabela 2 - Comparação preço e PCI para diferentes combustíveis.

Combustível	Valor (R\$/L)	PCI	Fonte
Óleo pirólise polietileno	2,53	10.342,03	Cavalheiros (2017) /Próprio autor (2019)
Óleo pirólise borracha	1,80	9.497,00	MF Rural (2019)
Gasolina	4,30	10.377,00	BBC (2019)/ UFPR (2019)
Etanol	2,72	6.437,00	Garcia (2019)/UFPR (2019)
Diesel	3,54	10.221,00	BBC (2019)/ UFPR (2019)

Fonte: Própria autora (2019).

É estimado um valor de R\$78.825,29 por mês, para os impostos sobre a venda bruta, valor obtido seguindo a tabela do simples nacional fornecida pela Receita Federal no ano de 2019.

Considerando o valor do investimento da planta de pirólise e um capital de giro para 3 meses, estima-se um investimento inicial de R\$5.895.000,00. O respectivo valor será baseado através de um empréstimo bancário, pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), que por meio de simulação adotou-se um empréstimo com 144 parcelas. O modelo de financiamento adotado foi o Sistema de Amortização Constante (SAC).

Com o levantamento de valores gasto para o investimento, as receitas e despesas previstas será possível fazer o levantamento do fluxo de caixa e verificar os demais indicadores de retorno de viabilidade econômica. Será estimado um fluxo de caixa para os próximos 10 anos, considerando em cada ano uma taxa de inflação de 3,75%, fornecido por Abdala (2019). A taxa aplicada é referente à inflação anual do ano de 2018. Através dos fluxos de caixa serão avaliados indicadores de retorno como TIR, VPL, TMA, Payback sendo possível avaliar os resultados de viabilidade econômica e financeira do projeto. Para o cálculo dos indicadores usou-se o programa computacional Excel.

Para o cálculo da TIR será considerada uma taxa de 5,52% ao ano, valor de rendimento para aplicação no Tesouro Direto no dia 19/09/2019, taxa fornecida pelo Tesouro Nacional.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nas pesquisas realizadas e na metodologia aplicada, foi possível realizar o estudo de viabilidade econômica para a implantação de uma planta de pirólise de resíduos plásticos, considerando a venda do óleo de pirólise de polietileno. A TAB. 3 apresenta a descrição dos gastos mensais para o início do projeto, bem como o total vendido mensalmente para os primeiros meses do investimento.

Tabela 3 - Descrição despesas e receitas para período inicial do projeto.

Item considerado	Referência	Valor total mensal (R\$)
Matéria-prima	400 T/mês	560.000,00
Despesas diversas	-	2.300,00
Folha de pagamento	7 funcionários	11.075,20
Encargos trabalhistas	41,64% (folha de pagamento)	4.611,71
Energia elétrica	-	5.384,40
Manutenção de equipamentos	5% (faturamento)	45.234,51
Aluguel	-	7.000,00
Imposto sobre venda	11,2% (faturamento)	78.825,29
Empréstimo	-	77.290,00
Venda mensal	R\$2,53/L	904.690,13

Fonte: Própria autora (2019).

Analisando as despesas e receitas do projeto, foi possível estimar o investimento inicial necessário para a implantação de uma unidade de pirólise para a produção de combustível de resíduos plásticos. A TAB. 4 apresenta a descrição do investimento inicial necessário para a implantação do projeto.

Tabela 4 - Custo do investimento inicial.

Descrição	Valor (R\$)
Planta de pirólise.	3.892.044,00
Capital inicial	2.002.956,00
Total (R\$)	5.895.000,00

Fonte: Própria autora (2019).

O fluxo de caixa total do primeiro ano do investimento é apresentado na TAB. 5, onde é considerando a projeção das receitas e principais despesas do projeto.

Tabela 5 - Fluxo de caixa primeiro ano.

Descrição ano 01	Total (R\$)
Venda bruta	10.856.281,56
Matéria prima e fornecedores	6.720.000,00
Salários e ordenados	132.902,40
Encargos trabalhistas	55.340,56
Empréstimos bancários	910.818,43
Manutenção de máquinas e equipamentos	542.814,08
Energia elétrica	64.612,80
Aluguel	84.000,00
Despesas diversas	27.600,00
Imposto sobre venda	945.903,48
Total líquido anual (R\$)	1.372.289,72

Fonte: Própria autora (2019).

Como observado na TAB. 5, a projeção do fluxo de caixa do primeiro ano do investimento apresenta um resultado líquido positivo, assim como os fluxos de caixa para os demais anos. A TAB.6 apresenta os valores totais líquidos obtidos pelas projeções dos fluxos de caixas considerados para o investimento no período de 10 anos.

Tabela 6 - Faturamento líquido anual.

Ano do investimento	Faturamento líquido anual (R\$)
Ano 01	1.372.289,72
Ano 02	1.484.133,76
Ano 03	1.601.659,26
Ano 04	1.722.270,47
Ano 05	1.843.149,17
Ano 06	1.967.197,56
Ano 07	2.094.534,59
Ano 08	2.225.283,49
Ano 09	2.359.572,30
Ano 10	2.497.533,69

Fonte: Própria autora (2019).

Através dos fluxos de caixa foi possível calcular os indicadores de retorno de investimento. A TAB. 7 apresenta detalhadamente o fluxo de caixa acumulado de cada ano, o qual auxiliou para realizar o cálculo dos demais indicadores.

Tabela 7 - Detalhamento fluxo de caixa acumulado.

Ano	Fluxo de caixa (R\$)	Fluxo de caixa acumulado (R\$)
Ano 0 (investimento)	-5.895.000,00	-5.895.000,00
Ano 01	1.372.289,72	-4.522.710,28
Ano 02	1.484.133,76	-3.038.576,52
Ano 03	1.601.659,26	-1.436.917,26
Ano 04	1.722.270,47	285.353,21
Ano 05	1.843.149,17	2.128.502,38
Ano 06	1.967.197,56	4.095.699,94
Ano 07	2.094.534,59	6.190.234,53
Ano 08	2.225.283,49	8.415.518,02
Ano 09	2.359.572,30	10.775.090,32
Ano 10	2.497.553,69	13.272.624,01

Fonte: Própria autora (2019).

A TAB. 8 apresenta os resultados obtidos pelos indicadores de retorno considerados para este investimento.

Tabela 8 - Resultados indicadores de retorno de investimento.

Indicador	Resultado
TIR (%)	25,96
VPL (R\$)	5.290.202,17
TMA (%)	10
PAYBACK (anos)	3,9

Fonte: Própria autora (2019).

A TMA estimada para o projeto foi de 10%. Já a TIR obtida foi de 25,96% que apresenta resultado satisfatório quando comparado com a TMA estimada. A TIR também se apresenta interessante quando comparada a aplicação do valor investido inicialmente no tesouro direto, que tem um rendimento de 5,52% ao ano. Portanto a TIR obtida indica a viabilidade econômica do projeto.

Considerando a TMA estimada para o cálculo do VPL, foi possível encontrar um resultado satisfatório para a aplicação do projeto. Foi alcançado um VPL de R\$5.290.202,17 que se mostra interessante o investimento a ser realizado.

A TMA estimada para o projeto apresenta valores inferiores ao obtido pela TIR, sendo interessante para o projeto, pois é possível superar a taxa mínima esperada de ganho de 10%. Analisando o payback se conclui que em aproximadamente 3 anos e 9 meses o projeto apresentará lucro, assim conseguindo apresentar ganho no capital investido. Pelo fato de ser um investimento relativamente alto o tempo de retorno está em um prazo satisfatório.

O projeto pode se tornar mais atrativo buscando métodos para se reduzir os custos de produção, e buscando meios de otimização do processo, como se aplicar em processos os resíduos sólidos e gasosos gerados, ou também em se submeter o líquido obtido em etapas posteriores que possibilita a obtenção de combustíveis mais puros como, por exemplo, a gasolina.

7 CONCLUSÃO

A produção de combustível pelo processo de pirólise de resíduos plásticos trás diversos benefícios que vão além de ganhos financeiros. É um processo que colabora de maneira eficaz para o tratamento de resíduos plásticos, e também por ser um processo alternativo para produção de combustíveis. Estudos realizados apontam que produtos obtidos pelo processo de pirólise de resíduos plásticos apresentam características semelhantes aos de combustíveis derivados do petróleo, assim podendo ser considerado um produto substituto para esses combustíveis. Porém mesmo apresentando diversos benefícios é um processo que apresenta um baixo índice de aplicação e um número escasso de pesquisas e trabalhos relacionados com o tema.

Ao se calcular a viabilidade econômica da implantação de uma usina de pirólise de resíduos de polietileno, foi possível chegar á viabilidade financeira do projeto. Foi feita análise dos indicadores de retorno financeiro, onde ambos aplicados no processo apresentaram resultados satisfatórios e também apresentou um tempo de retorno atraente por exigir um grande investimento inicial. O óleo pirólítico considerado, também apresentou um preço de venda coerente quando comparado com diversos combustíveis presentes no mercado e com seu PCI.

Mesmo se apresentando viável é interessante desenvolver novos estudos para verificar a viabilidade do processo em situações diferentes, como a implantação de uma usina para produção de combustível em uma indústria, onde a fração sólida, líquida e gasosa possa ser usada como fonte de energia ou matéria prima para uma indústria. Implantação em um local onde se produz grande volume de resíduos plásticos que possa ser usada como matéria prima do processo. Também é interessante realizar novos estudos sobre a viabilidade econômica ao se submeter os produtos obtidos em etapas posteriores como, por exemplo, o processo de destilação, assim podendo se comercializar um combustível mais puro. Então apresentar propostas para aplicação desse projeto, pode trazer diversos benefícios, principalmente no Brasil que está na lista dos maiores produtores de resíduos plásticos e um dos países com menor índice de reciclagem.

REFERÊNCIAS

ABDALA, Vitor. **Inflação oficial fecha 2018 em 3,75%**. 2019. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2019-01/inflacao-oficial-fecha-2018-em-375>. Acesso em: 07 set. 2019.

AFINKO SOLUÇÕES EM POLÍMEROS. **Foram consumidas 6,5 milhões de toneladas de resinas poliméricas em 2017. Sabia agora quais são as mais consumidas, segundo a ABIPLAST**. Disponível em: <https://afinkopolimeros.com.br/6-plasticos-mais-consumidos-em-2017/>. Acesso em: 1 set. 2019.

B2 BRASIL. **PLÁSTICOS / FÁBRICA DE PIRÓLISE DE BORRACHA B-20_C**. Disponível em: <https://b2brazil.com.br/hotsite/ecoholding/plasticos-fabrica-de-pirolise-de-borrach>. Acesso em: 3 ago. 2019.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Dólar Americano**. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/fechamentodolar>. Acesso em: 24 ago. 2019.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO. **Simule seu financiamento**. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/simulador/?productCode=AOI_033#. Acesso em: 21 set. 2019.

BATISTA, Josiana. **Entenda o que é Payback e saiba como calcular**. 2019. Disponível em: <https://www.flua.com.br/blog/entenda-o-que-e-payback-e-saiba-como-calcular/>. Acesso em: 19 out. 2019.

BILHAR, Ana Letícia. Análise de viabilidade econômica e ambiental de um projeto de investimento em uma indústria de alimentos. **Revista Destaques Acadêmicos**, Lajeado-RS, v. 5, n. 1, p. 19-33, 2012- 2013. Disponível em: <file:///C:/Users/User/Downloads/253-260-1-PB.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2019.

BOEHM, Camila. **Brasil perde R\$ 5,7 bilhões por ano ao não reciclar resíduos plásticos**. 2018. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-06/brasil-perde-r-57-bilhoes-por-ano-ao-nao-reciclar-residuos-plasticos>. Acesso em: 04 mar. 2019.

BORGES, Leandro. **Como e Por que Fazer um Estudo de Viabilidade Econômica e Financeira**. Disponível em: <https://blog.luz.vc/como-fazer/como-e-por-que-fazer-um-estudo-de-viabilidade-economica-e-financeira/>. Acesso em: 20 maio 2019.

BRASKEM. **Movimento mostra a importância do plástico no dia a dia**. Disponível em: <https://www.braskem.com.br/detalhe-braskem-news/movimento-mostra-a-importancia-do-plastico-no-dia-a-dia>. Acesso em: 28 set. 2019.

BRASKEM. **O plástico-braskem**. Disponível em: [file:///c:/users/user/downloads/cartilha_braskem%20\(2\).pdf](file:///c:/users/user/downloads/cartilha_braskem%20(2).pdf). Acesso em: 27 mar. 2019.

Braskem; **Tecnologia do PVC**. 2.ed. São Paulo, 2006. 446p. Disponível em: http://jovensbraskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/Download/Upload/Tecnologia%20do%20PVC%20a%20edi%C3%A7%C3%A3o_22.pdf. Acesso em: 07 jun. 2019.

BUARQUE, Cristovam. **Avaliação econômica de projetos**: Uma Apresentação Didática. 8 ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 1984. 261 p.

CAIBRE, Deise Ieda et al. **Análise da viabilidade econômica do processo de pirólise para tratamentos de resíduos sólidos urbanos: Estudo de caso aplicado a uma cidade de médio porte**. Revista de Ciências Ambientais, Passo Fundo-RS, v. 10, n. 2, p.67-88, 16 dez. 2016. Centro Universitario La Salle - UNILASALLE. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/312237011_ANALISE_DA_VIABILIDADE_ECONOMICA_DO_PROCESSO_DE_PIROLISE_PARA_TRATAMENTO_DE_RESIDUOS_SOLIDOS_URBANOS_ESTUDO_DE_CASO_APLICADO_A_UMA_CIDADE_DE_MEDIO_PORTE. Acesso em: 01 set. 2019.

CALCULAR E CONVERTER. **O que é e como calcular MARKUP**. Disponível em: <https://calculareconverter.com.br/calcular-markup/>. Acesso em: 28 set. 2019.

CALLISTER JÚNIOR, William D. **Ciência e engenharia de materiais**: Uma introdução. 5 ed. RIO DE JANEIRO: LTC, 2002. 589 p.

CAMARGO, Renata Freitas de. **Taxa Interna de Retorno: como a TIR é aplicada na análise de viabilidade de investimento em um projeto?** 2017. Disponível em: <https://www.treasy.com.br/blog/taxa-interna-de-retorno-tir/>. Acesso em: 19 maio 2019.

CAMARGO, Renata Freitas de. **Veja como o valor presente líquido (vpl) ajuda na análise de viabilidade de um investimento**. 2018. Disponível em: <https://www.treasy.com.br/blog/valor-presente-liquido-vpl/>. Acesso em: 19 maio 2019.

CANEVAROLO JÚNIOR, Sebastião Vicente. **Ciência dos polímeros**: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 3 ed. São Paulo: Artliber, 2013. 106 p.

CANEVAROLO JÚNIOR, Sebastião Vicente. **Ciência dos polímeros**: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 2 ed. São Paulo: Artliber, 2006. 277 p.

CARVALHO, Henrique. **Valor Presente Líquido: o que é o VPL e por que isso é importante para os seus investimentos?** 2017. Disponível em: <https://hcinvestimentos.com/2017/01/17/valor-presente-liquido/>. Acesso em: 19 maio 2019.

CASTRO, A.; *et al.* Recuperação de compostos clorados e energia a partir de resíduos contendo PVC. **Gestão de resíduos para sustentabilidade dos recursos**, Portugal, v. 8, jul. 201. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/27349/3/abstract-jornadasAPESB.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2019.

CASTRO, Alexandra Manuela Neves de. **Mecanismos de Decomposição Pirolítica de Resíduos com PVC com vista à sua Valorização**. 2013. 180 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade do Minho Escola de Engenharia, Braga-portugal, 2013. Disponível em:

http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/25621/1/PhD_AC_2013.pdf. Acesso em: 15 jun. 2019.

CAVALHEIRO, Orlando de Lima. **óleo de resíduos poliméricos do tipo polipropileno como combustível alternativo para motores do ciclo diesel**. 2017. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria- Rs, 2017. Disponível em:

https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/14582/DIS_PPGEQ_2018_CAVALHEIRO_ORLANDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 29 set. 2017.

CEMIG. **VALORES DE TARIFA E SERVIÇOS**. Disponível em:

https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx. Acesso em: 28 ago. 2019.

CEMPRE- COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **PREÇO DOS MATERIAIS RECICLÁVEIS**. Disponível em: <http://cempre.org.br/cempre-informa/id/115/preco-dos-materiais-reciclaveis>. Acesso em: 10 ago. 2019.

COELHO, Tatiana. **Brasil é o 4º maior produtor de lixo plástico do mundo e recicla apenas 1%**. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/natureza/noticia/2019/03/04/brasil-e-o-4o-maior-produtor-de-lixo-plastico-do-mundo-e-recicla-apenas-1.ghtml>. Acesso em: 04 mar. 2019.

COLPO, Iliane; MEDEIROS, Flaviani Souto Bolzan; WEISE, Andreas Dittmar. **Análise de retorno do investimento: Um estudo aplicado em uma microempresa**. Raci, Getúlio Vargas-RS, v. 10, n. 21, p. 1-21, jan./jul. 2016. Disponível em:

https://www.ideau.com.br/getulio/restrito/upload/revistasartigos/327_1.pdf. Acesso em: 19 mai. 2019.

COLTRO, Leda; GASPARINO, Bruno F.; QUEIROZ, Guilherme De C.. **Reciclagem de materiais plásticos: a importância da identificação correta**. Polímeros: ciência e tecnologia, Campinas, v. 18, n. 2, p. 119-125, ago. 2007. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282008000200008. Acesso em: 17 mar. 2019.

COSTA, Flávio. **Entendendo a TMA (Taxa Mínima de Atratividade)**. 2018. Disponível em: <https://sitecampus.com.br/tma-taxa-minima-de-atratividade/>. Acesso em: 19 maio 2019.

COSTA, Paula Alexandra da Conceição. **Produção de hidrocarbonetos líquidos e gasosos por pirólise de resíduos plásticos**. Lisboa: Copyright, 2006.

DE PAULA, Gilles B. **Demonstrativo de Fluxo de Caixa: o que é, como usar e dicas para sua empresa!** 2013. Disponível em: <https://www.treasy.com.br/blog/demonstrativo-de-fluxo-de-caixa/>. Acesso em: 18 maio 2019.

ECYCLE. **O que é reciclagem química?**. Disponível em:

<https://www.ecycle.com.br/component/content/article/44-guia-da-reciclagem/3657-o-que-e-reciclagem-quimica.html>. Acesso em: 24 mar. 2019.

ENDLER, Luciana. **Avaliação de empresas pelo método de fluxo de caixa descontado e os**

desvios causados pela utilização de taxas de descontos inadequadas. ConTexto, Porto Alegre, v. 4, n. 6, p. 1-13, jun. 20. Disponível em: <file:///C:/Users/User/Dropbox/TCC%20Dropbox/11715-39448-2-PB.pdf>. Acesso em: 19 mai. 2019.

EU ESTUDANTE. **Combustível feito a partir do plástico.** Disponível em: https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/eu-estudante/me_gerais/2014/02/12/me_gerais_interna,412414/combustivel-feito-a-partir-do-plastico.shtml. Acesso em: 12 mai. 2019.

FIGUEIREDO, Aneliése L. *et al.* **Reciclagem Terciária do Poli(etileno tereftalato) Visando a Obtenção de Produtos Químicos e Combustível: Uma Revisão.** REVISTA VIRTUAL DE QUÍMICA, NATAL-RN, v. 7, n. 4, p. 1145-1162, jan. 2015. Disponível em: <http://rvq-sub.sbjq.org.br/index.php/rvq/article/view/823/565>. Acesso em: 04 mai. 2019.

FILHO, Nelson Casarotto; KOPITKE, Bruno Hartmut. **Análise de investimentos: Matemática Financeira, Engenharia Econômica, Tomada de Decisão, Estratégia Empresarial.** 11 ed. São Paulo-SP: Editora Atlas S.A., 2010. 3-397 p.

FORLIN, Flávio J.; FARIA, Jose De Assis F.. Considerações sobre a reciclagem de Embalagens plásticas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, Campinas-SP, v. 12, n. 1, p. 1-10, abr. 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/po/v12n1/9876>. Acesso em: 21 abr. 2019.

FRAGA, Simone Carvalho Levorato. **Reciclagem de matérias plásticas: Aspectos Técnicos, Econômicos, Ambientais e Social.** 1 ed. São Paulo: Érica, 2014. 120 p.

FREITAS, Menildo Jesus de Sousa; FILHO, Nourival de Souza Resende. **Custos de manutenção: competência e racionalidade na gestão de recursos objetivando maior competitividade.** Florianopolis-sc, 28 nov. 2005.

G1 ECONOMIA . **O preço dos combustíveis no Brasil na comparação internacional.** Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/09/19/o-preco-dos-combustiveis-no-brasil-na-comparacao-internacional.ghtml>. Acesso em: 22 set. 2019.

GAMA, Mara. **Pesquisa mostra que brasileiro sabe pouco sobre coleta e reciclagem.** 2018. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2018/06/pesquisa-mostra-que-brasileiro-sabe-pouco-sobre-coleta-e-reciclagem.shtml>. Acesso em: 04 mar. 2019.

GONÇALVES, Cecília Korber. **Pirólise e Combustão de resíduos plásticos.** 2007. Dissertação (Mestrado)- Curso de Engenharia de Materiais, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-09012008-122306/publico/dissertacao_Cecilia_K_Goncalves.pdf. Acessado em: 02 abr. 2019.

GONÇALVES, Victor. **Payback: o que é e como calcular.** 2018. Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/payback>. Acesso em: 23 maio 2019.

JÚNIOR, Humberto Arimatéia. **Pirólise de misturas plásticas.** 2017. 126p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de

Janeiro, 2017. Disponível em: <http://portal.peq.coppe.ufrj.br/index.php/producao-academica/dissertacoes-de-mestrado/2017/488--64/file>. Acesso em: 31 mar. 2019.

KINNEE, Dean R.. **EQUIPMENT AND FIXTURES INDEX, PERCENT GOOD AND VALUATION FACTORS**. Assessors' Handbook, California, p.1-44, 01 jan. 2018. Disponível em: <http://www.boe.ca.gov/proptaxes/pdf/ah58118.pdf>. Acesso em: 06 set. 2019.

LEME, Guilherme Ricchini; FERNANDES, Dangelia Maria; LOPES, Carla Limberger. Utilização da pirólise para o tratamento de resíduos no Brasil. **Resíduos Sólidos e recursos hídricos: as grandes consequências de cada atitude**, Paraná, v. 8, jun. 2017. Disponível em: [file:///C:/Users/User/Downloads/225-Texto%20do%20artigo-1625-1-10-20170617%20\(12\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/225-Texto%20do%20artigo-1625-1-10-20170617%20(12).pdf). Acesso em: 20 mai. 2019.

LIMA, Priscila Santos V. *et al.* **Síntese, caracterização e avaliação in silico de compostos derivados do ácido tereftálico usando garrafas pet como matéria-prima**. Paraíba. Disponível em: https://editorarealize.com.br/revistas/conepetro/trabalhos/TRABALHO_EV052_MD4_SA13_ID164_06072016141619.pdf. Acesso em: 17 mar. 2019.

MARQUES, Pablo. **Brasil é 4º maior produtor de lixo plástico e pouco recicla, diz WWF**. 2019. Disponível em: <https://noticias.r7.com/tecnologia-e-ciencia/brasil-e-4-maior-produtor-de-lixo-plastico-e-pouco-recicla-diz-wwf-05032019>. Acesso em: 09 jun. 2019.

MF RURAL. **Óleo Combustível BPF**. Disponível em: <https://www.mfrural.com.br/detalhe/oleo-combustivel-bpf-pirolise--292174.aspx>. Acesso em: 12 set. 2019.

MONTEIRO, Alessandra da Rocha Duailibe. **Contribuição da Reciclagem Química de Resíduos Plásticos para o Desenvolvimento Sustentável**. 2018. 328p. Tese (Doutorado)-Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <http://portal.peq.coppe.ufrj.br/index.php/producao-academica/teses-de-doutorado/2018-1/533--104/file>. Acesso em: 30 mar. 2019.

MORAES, Luana Cristina. *et al.* **PROCESSO PIRÓLISE PARA DECOMPOSIÇÃO DO LIXO URBANO**. Pesquisa e ação, Mogi das Cruzes-SP, v. 1, n. 1, p. 134-140, nov. 2015. Disponível em: <file:///C:/Users/User/Downloads/476-Texto%20do%20artigo-1601-1-10-20180905.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2019.

MOTTA-ROTH, Désirée; HENDGES, Graciela Rabuske. **Produção Textual na Universidade**. São Paulo: Parábola Editorial, 2015. 150 p.

MUNIZ, Ana Rosa Costa. **OTIMIZAÇÃO DA OPERAÇÃO DE UM REATOR DE PIRÓLISE DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS**. 2004. 197 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/87220/201568.pdf?sequence=1>. Acesso em: 29 set. 2019.

ONUBR: NAÇÕES UNIDAS D O BRASIL. **ONU Meio Ambiente aponta lacunas na**

reciclagem global de plástico. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/onu-meio-ambiente-aponta-lacunas-na-reciclagem-global-de-plastico/>. Acesso em: 04 mar. 2019.

PEDROSA, Marcelo Mendes. **Bio-óleo e Biogás da degradação termoquímica de lodo de esgoto doméstico em cilindro rotativo.** 2011. 210 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/15915/1/MarceloMP_TESE.pdf. Acesso em: 27 mar. 2019.

PENSAMENTO VERDE. **Conheça o processo de pirólise do lixo.** Disponível em: <https://www.pensamentoverde.com.br/reciclagem/conheca-o-processo-de-pirolise-do-lixo/>. Acesso em: 05 mai. 2019.

PEREIRA, Marcilene Silva. **Estudo do Processo de Craqueamento Termo-Catalítico de Polímeros (polietileno, polipropileno e poliestireno) para produção de combustível.** 2016. 210p. Tese (Doutorado)- Curso de Engenharia de Recursos Naturais, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/303913961_ESTUDO_DO_PROCESSO_DE_CRAQUEAMENTO_TERMO-CATALITICO_DE_POLIMEROS_POLIETILENO_POLIPROPILENO_E_POLIESTIRENO_PARA_PRODUCAO_DE_COMBUSTIVEL. Acesso em: 31 mar. 2019.

PIATTI, Tânia Maria; RODRIGUES, Reinaldo Augusto Ferreira. **Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais.** 1 ed. Maceió - AL: Edufal - Editora da Universidade Federal de Alagoas, 2005. 51 p.

RECEITA FEDERAL. **Anexo II Aliquotas e Partilhas Simples Nacional.** Disponível em: <http://normas.receita.fazenda.gov.br/sijut2consulta/anexoOutros.action?idArquivoBinario=48431>. Acesso em: 21 set. 2019.

RIBEIRO, Lucas. **Importância do estudo de viabilidade do projeto.** 2017. Disponível em: <https://tecplaner.com.br/estudo-de-viabilidade-do-projeto/>. Acesso em: 28 set. 2019.

RODRIGUES, Vitor *et al.* **Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos e Produção de Energia: Análise de Legislação para Viabilidade Econômica de Soluções Conjuntas.** SEG e T: Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p.1-8, out. 2014. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos14/43220492.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2019.

SANTOS, Edilaine Dos; VASAN, Alexandre Hungaro. **A importância dos investimentos: uma análise por meio do Payback, VPL e TIR.** CEAD&CIESTEC: ciclo de estudo em administração & ciclos de estudos tecnológicos, São Paulo-SP, p. 1-13, 2014. Disponível em: <file:///C:/Users/User/Dropbox/TCC%20Dropbox/57-212-1-PB.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2019.

SANTOS, Edilaine Dos; VASAN, Alexandre Hungaro. **A IMPORTÂNCIA DOS INVESTIMENTOS: uma análise por meio do Payback, VPL e TIR.** CEAD & CIESTEC, São Paulo, 2018. Disponível em: <http://docplayer.com.br/23682117-A-importancia-dos-investimentos-uma-analise-por-meio-do-payback-vpl-e-tir-resumo.html>. Acesso em: 23 mai. 2019.

SANTOS, Vanessa Sardinha dos. "Tempo de decomposição do lixo"; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/curiosidades/tempo-decomposicao-lixo.htm>. Acesso em 09 de junho de 2019.

SEBRAE. **O que é o fluxo de caixa e como aplicá-lo no seu negócio**. Disponível em: <http://www.sebrae.com.br/sites/portalsebrae/artigos/fluxo-de-caixa-o-,b29e438af1c92410vgnvcm100000b272010arcrd>. Acesso em: 18 mai. 2019.

SHARUDDIN, S. D. A. *et al.* Pyrolysis of plastic waste for liquid fuel production as prospective energy resource. **OP Conference Series: Materials Science and Engineering**, Malaya, v. 10, p. 1-8 2018. Disponível em: file:///C:/Users/User/Downloads/Pyrolysis_of_plastic_waste_for_liquid_fuel_product.pdf. Acesso em: 01 mai. 2019

SILVA, Edson Cordeiro. **Como administrar o fluxo de caixa das empresas: guia de sobrevivência empresarial**. 10 ed. São Paulo-SP: Atlas, 2018. 432 p.

SILVEIRA, Paula Daolio. **Avaliação do potencial da pirólise de resíduos sólidos urbanos como processamento termoquímico para recuperação de matéria e energia**. 2015. 60p. Trabalho conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina PR, 2015. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5345/1/LD_COEAM_2015_1_18.pdf. Acesso em: 30 mar. 2019

SIMPLAST. **O plástico**. Disponível em: <http://simplast.com.br/o-plastico/>. Acesso em: 24 mar. 2019.

SINDICATO DOS TRABALHADORES NAS INDÚSTRIAS, QUÍMICAS, PLÁSTICAS E FARMACÊUTICAS DE BELO HORIZONTE E REGIÃO. **CCT CONVENÇÃO COLETIVA DO TRABALHO PLÁSTICOS**. Disponível em: <http://sindluta.org.br/ccts/plastico2019.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2019.

SOARES, Vilhena. **Plástico: mundo produziu 8,3 bi de toneladas em 65 anos e reciclou só 9%**. 2017. Disponível em: https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/ciencia-e-saude/2017/07/22/interna_ciencia_saude,611649/plastico-mundo-produziu-8-3-bi-de-toneladas-em-65-anos-e-reciclou-so.shtml. Acesso em: 17 mar. 2019.

SOARES, Vilhena. **Plástico: mundo produziu 8,3 bi de toneladas em 65 anos e reciclou só 9%:O uso do material revolucionou a indústria, mas também gerou acúmulo de lixo**. 2017. Disponível em: https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/ciencia-e-saude/2017/07/22/interna_ciencia_saude,611649/plastico-mundo-produziu-8-3-bi-de-toneladas-em-65-anos-e-reciclou-so.shtml. Acesso em: 03 ago. 2019.

SPINACÉ, Márcia Aparecida Da Silva; PAOLI, Marco Aurélio. **A Tecnologia Da Reciclagem De Polímeros**. *Quim. nova*, Campinas, v. 28, n. 65, p. 72, jan. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v28n1/23041>. Acesso em: 24 fev. 2019.

STRONG, A. Brent. **Plastics: MATERIALS AND PROCESSING** . 1. ed. New Jersey: Stephen Helba, 1996.

SVIECH, Vinicius; MANTOVAN, Edson Ademir. Análise de investimentos: controvérsias na utilização da TIR e VPL na comparação de projetos. **Unicritiba**, Curitiba-PR, p. 1-28, 2013. Disponível em: <http://revista.unicritiba.edu.br/index.php/percurso/article/viewFile/657/495>. Acesso em: 21 mai. 2019.

TESOURO NACIONAL. **Tesouro Direto**. Disponível em: <http://www.tesouro.fazenda.gov.br/tesouro-direto-precos-e-taxas-dos-titulos>. Acesso em: 9 set. 2019.

VIEIRA, Glaucia Eliza Gama; ALEXANDRE, Gerso Pereira. **Tratamento, caracterização e obtenção de bio-óleo combustível a partir da pirólise termocatalítica de lodo de esgoto doméstico** – uma revisão. Revista Liberato, Novo Hamburgo -RS, v. 15, n. 23, p. 01-104, jan./jun. 2014.

VIVA REAL. **Galpão/Depósito/Armazém para Alugar**. Disponível em: <https://www.vivareal.com.br/imovel/galpao-deposito-armazem-prado-bairros-belo-horizonte-420m2-aluguel-RS7000-id-2451854699/>. Acesso em: 10 ago. 2019.

WENSING, Cristiane Silvano *et al.* **Projeto de viabilidade técnico-econômica da instalação de uma unidade de pirólise de pneus**. Tubarão-SC 2018. 386 p. Disponível em: <http://www.riuni.unisul.br/handle/12345/5337>. Acesso em: 27 mar. 2019.

ZAGO, Camila Avozani; WEISE, Andreas. Dittmar; HORNBURG, Ricardo André. **A IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE PROJETOS NAS ORGANIZAÇÕES CONTEMPORÂNEAS**. Congresso virtual brasileiro de administração, Santa Catarina, v.09, jan. 2009. Disponível em: http://www.convibra.com.br/2009/artigos/142_0.pdf. Acesso em: 12 mai. 2019.