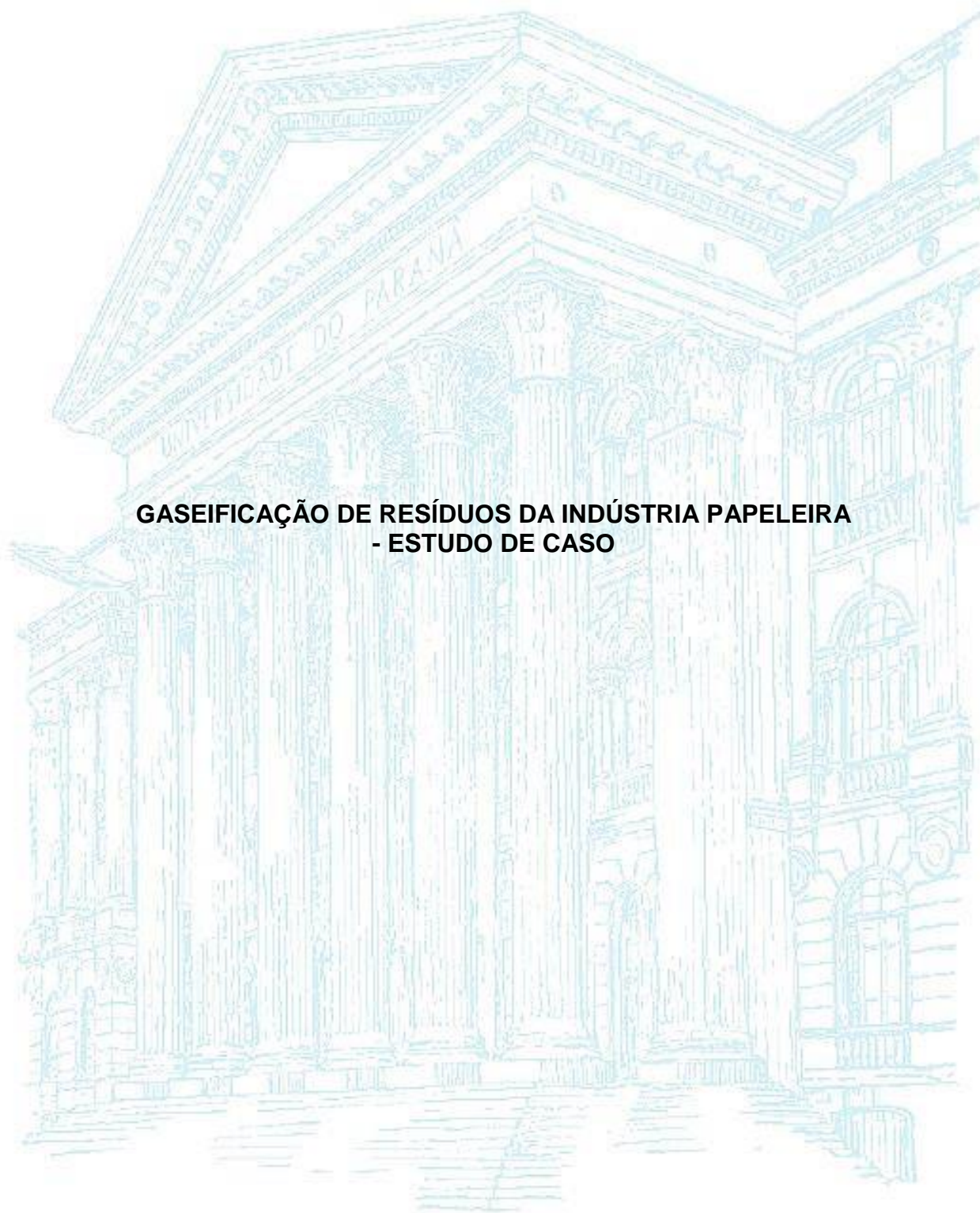


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ELIS DE OLIVEIRA LOPES



**GASEIFICAÇÃO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA PAPELEIRA
- ESTUDO DE CASO**

CURITIBA
2017

ELIS DE OLIVEIRA LOPES

**GASEIFICAÇÃO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA PAPELEIRA
- ESTUDO DE CASO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de MBA em Gestão Ambiental, do Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, como pré-requisito para obtenção do título de especialista.

Orientador: M.Sc. Jean Carlos Padilha
Co-orientadora: M.Sc. Valéria de Cássia Macedo

CURITIBA
2017

RESUMO

Um dos objetivos da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (Lei 12305/2010) é o incentivo ao reaproveitamento dos resíduos, incluindo processos de recuperação e aproveitamento energético (*waste-to-energy*), como a utilização dos combustíveis derivados de resíduo. Entretanto, alguns desses processos podem apresentar impactos significativos ao ambiente se não houver uma boa operação e monitoramento. Neste sentido, o processo de gaseificação vem chamando atenção por se esquivar dos problemas de emissões atmosféricas comumente encontrados em processos de combustão incompleta, devido à ausência de oxigênio na termoconversão, além de se obter o gás de síntese (Syngas) para conversão energética. Assim, o objetivo do projeto foi estudar a viabilidade de implantação de uma unidade de gaseificação para tratamento de resíduos (lodo e plástico) de uma indústria de papel e celulose, bem como a condição otimizada do processo para geração e utilização do gás de síntese para conversão energética. O teste apontou ser uma alternativa atrativa uma vez que é efetiva como destinação destes resíduos, assim como é passível de geração considerável de 0,9 MWh/t, enaltecendo que as emissões atmosféricas são significativamente mais brandas do que outros processos tradicionais de termoconversão. Quanto aos resíduos, houve a geração de 5,3% de cinza e 34% de uma água oleosa. Cabe ressaltar que diferentemente das outras tecnologias de termoconversão, a gaseificação ainda não está comercialmente estabelecida, o que acarreta em algumas barreiras como a legalização perante ao órgão ambiental. Sendo assim, embora se tenha conseguido bons resultados, a gaseificação precisa do sucesso de demonstrações da sua aplicabilidade em escala comercial a fim de expressar maior confiabilidade e conquistar espaço no mercado mundial.

Palavras-chave: PNRS, termoconversão, *waste-to-energy*

ABSTRACT

One of the objectives of the National Solid Waste Policy (Law 12305/2010) is the incentive to reuse waste, including waste-to-energy processes, such as the use of waste-derived fuels. However, some of these processes may have significant impacts to the environment if there is no good operation and monitoring. In this sense, the gasification process has been drawing attention due to the lack of oxygen in thermoconversion, as well as synthesis gas (Syngas) for energetic conversion. Thus, the goal of the project was to study the viability of the implantation of a gasification unit for waste treatment (sludge and plastic) of a pulp and paper industry, as well as the optimized process condition for the generation and use of synthesis gas for energy conversion. The test proved to be an attractive alternative since it is effective as a destination for these wastes, as well as a considerable generation of 0.9 MWh / t, emphasizing that atmospheric emissions are significantly softer than other traditional thermo-conversion processes. Regarding the residues, there was the generation of 5.3% of ash and 34% of an oily water. It should be noted that unlike other thermo-conversion technologies, gasification is still not commercially established, which leads to some barriers such as legalization before the environmental agency. Thus, although good results have been achieved, gasification still requires the successful demonstration of its applicability on a commercial scale in order to express greater reliability and gain space in the world market.

Keywords: PNRS, thermo-conversion, waste-to-energy

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2 OBJETIVOS	8
2.1 OBJETIVO GERAL	8
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	8
3 REVISÃO DE LITERATURA	9
4 METODOLOGIA	13
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO DE GERAÇÃO E DESTINAÇÃO DE PLÁSTICO E LODO	13
4.2 OBTENÇÃO E ANÁLISE DE DADOS	13
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO DE GERAÇÃO E DESTINAÇÃO DE PLÁSTICO E LODO	15
5.2 TESTE PILOTO.....	18
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
REFERÊNCIAS	24

1 INTRODUÇÃO

A Lei nº 12.305 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que foi sancionada em 2010 após vinte anos de tramitação no Congresso Nacional. A mesma aborda diversos princípios e ações de gerenciamento de resíduos, fundamentais para uma melhora na grave situação vivenciada pelo país, embora já tenham se passado sete anos ainda há muitos desafios para a sua real implementação.

A essência da PNRS é instigar os gestores de resíduos a enxergá-la como uma oportunidade de se esgotar as possibilidades de usos e destinos dos mesmos, entendendo que esta gestão está inserida na própria função social das empresas. Isso porque além de atender as expectativas dos clientes, melhora sua imagem perante o mercado, aos órgãos ambientais e com a sociedade de modo geral. Nos dias de hoje, simplesmente atender os padrões impostos pelas legislações ambientais não é suficiente para manter vantagens competitivas, sobretudo no mercado externo é preciso ter a visão de que a adequada gestão dos resíduos pode ser um negócio lucrativo, tanto ambiental como economicamente.

Neste contexto, as indústrias de papel e celulose vem buscando adotar práticas rigorosas quanto a gestão de seus resíduos sólidos, tanto nas suas atividades florestais quanto industriais. Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2017) que é a associação responsável pela representação institucional da cadeia produtiva de árvores plantadas, o objetivo é reduzir a geração e assegurar a melhor destinação possível dos resíduos sólidos, visando atender aos requisitos legais e de certificação.

Há séculos o papel desempenha grande importância no cotidiano da sociedade, estando presente como meio básico de educação, comunicação, usos comerciais e residenciais, higiene pessoal e limpeza. Na tentativa de suprir a crescente demanda, as indústrias buscam se adequar investindo cada vez mais no setor.

Em contrapartida aos diversos ganhos e benefícios estão os inestimáveis impactos ao ambiente. Assim, é primordial que a produção e consumo do papel se tornem cada vez mais sustentáveis, desafiando

indústrias a investir em novas tecnologias, buscando atender às legislações mais rígidas, sem que abale sua estrutura financeira.

Um dos objetivos da PNRS é o incentivo ao reaproveitamento dos resíduos, incluindo processos de recuperação e aproveitamento energético, como a utilização do Combustível Derivado de Resíduo (CDR); e entretanto, alguns processos de combustão podem apresentar impactos significativos se não houver uma boa operação e monitoramento.

Neste sentido, o processo de gaseificação vem chamando atenção por esquivar-se dos problemas de emissões atmosféricas comumente encontrados em processos de combustão incompleta, devido à ausência de oxigênio na termoconversão. Além disso, é possível obter subproduto com valor comercial como o gás de síntese para geração de energia.

Diante do exposto, o objetivo do projeto foi estudar a viabilidade de implantação de uma unidade de gaseificação para tratamento de resíduos de uma indústria de papel e celulose. Entretanto, para essa técnica visa especificamente o lodo da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) e os resíduos plásticos provenientes da Planta de *Old Corrugated Cardboard* (OCC). Além do tratamento, buscou-se uma condição otimizada do processo, visando geração e utilização do gás de síntese para conversão energética.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar a viabilidade de implantação de uma unidade de gaseificação para tratamento de resíduos industriais (lodo e plástico), visando posterior utilização do gás de síntese para conversão energética.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Caracterizar o cenário de geração e destinação dos resíduos plástico e lodo;
- b) Analisar tratamento por gaseificação com base em teste piloto, visando possibilidade de conversão energética;
- c) Verificar a viabilidade de implantação do projeto.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Desde os primórdios de sua existência o homem extraiu tudo que precisou da natureza sem ter a ideia de que os recursos naturais poderiam ser finitos. Com o marco histórico da Revolução Industrial, em meados de 1850 introduziu-se o contexto de desenvolvimento com a manufatura decorrente de fatores como a acumulação de capital, mercados consumidores, mão de obra disponível (êxodo rural), além de farta matéria-prima – como as jazidas de carvão. Obviamente que tal marco foi primordial para o desenvolvimento econômico e tecnológico, mas também trouxe consigo desigualdades sociais e prejuízos ao ambiente (PIRES, 2017; NASCIMENTO *et al.*, 2015; ALMEIDA *et al.*, 2013).

Mesmo após tantas interferências ao longo dos anos, só em 1972 concretizou-se a primeira atitude mundial em busca da conservação ambiental: a Conferência de Estocolmo. A mesma foi realizada pela Organização das Nações Unidas (ONU), com o objetivo de conscientizar a sociedade do seu papel fundamental em relação ao ambiente e assim atender as necessidades da população presente sem comprometer as gerações futuras (PIRES, 2017; NASCIMENTO *et al.*, 2015; ALMEIDA *et al.*, 2013).

No Brasil antes de 1972 não haviam leis ambientais propriamente ditas, mas já se apresentava alguma preocupação ambiental, como desde as Leis da Coroa, Código Florestal, Código de Águas, Estatuto da Terra, entre outros - mesmo que indiretamente por meio de interesses econômicos, individuais e/ou nacionalistas. Após tudo isso, construiu-se leis efetivamente como a Política Nacional do Meio Ambiente em 1981 (Lei nº 6938) e seu ápice com o disposto no art. 225 da Constituição Federal de 1988, o qual representa o interesse coletivo em prol de um meio ambiente ecologicamente equilibrado (PIRES, 2017; NASCIMENTO *et al.*, 2015; ALMEIDA *et al.*, 2013).

A partir de então já no século XXI, notam-se avanços na questão ambiental no Brasil e no mundo, mais voltado para aos resíduos sólidos que é o enfoque deste trabalho - tem-se como exemplo a Lei 12.305/10, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Em contrapartida

aos avanços, sete anos após ser sancionada ainda há muitos desafios para a sua efetiva implementação (PIRES, 2017; NASCIMENTO *et al.*, 2015; ALMEIDA *et al.*, 2013).

A disposição em aterro sanitário é o processo mais utilizado para a destinação final dos resíduos sólidos, devido ao baixo custo de disposição em comparação com os demais métodos. Embora se apresente como uma forma simples de destinação, os aterros são grandes obras de engenharia que necessitam de técnicas bastante específicas, desde a seleção e preparo da área até sua operação e encerramento da vida útil - todas as etapas seguindo rigoroso monitoramento ambiental (CETESB, 2017; ABRELPE, 2015; FEAM, 2006; ABNT, 1992).

Entretanto, o mesmo tem como desvantagem o fato de não ser um tratamento ou técnica de reciclagem de resíduos, mas sim, da forma que é operado atualmente, serve apenas como um depósito. Assim, tem se tornado um método de inúmeros limitantes devido a demanda por grandes áreas, por se tornar um passivo ambiental às empresas, além de implicar em considerável perda de valor potencial dos componentes depositados (CETESB, 2017; ABRELPE, 2015; FEAM, 2006; ABNT, 1992).

Por essas e tantas outras questões que os sistemas tradicionais de disposição já estão chegando a seu limite, sendo necessário novas alternativas a fim de minimizar o impacto ambiental dos resíduos e aproveitar de forma mais eficiente os recursos extraídos (CETESB, 2017; ABRELPE, 2015; FEAM, 2006; ABNT, 1992).

A PNRS adotou uma necessidade mundial: fomentar tecnologias e políticas de destinação de resíduos sólidos que atuem decisivamente para minimizar o volume de resíduos e rejeitos gerados, possibilitando o aproveitamento energético dos mesmos. Como exemplo, tem-se as tecnologias *waste-to-energy* que utilizam resíduos como combustíveis para produzir energia térmica, elétrica ou mecânica, ou seja, ao invés do envio para aterro, os mesmos são submetidos a um processo de valorização, como operações de trituração e mistura, visando à obtenção de um material com característica homogênea, denominado de Combustível Derivado de Resíduo (CDR) (INFIESTA, 2015; LOPES, 2014; MIRANDA, 2014; FEAM, 2012).

Dentre estas técnicas, um dos exemplos mais conhecidos é a incineração, embora ainda atue muito timidamente no Brasil, é bastante difundida em outros países. O Japão é um dos países que mais avançou neste tipo de tecnologia, uma das causas é sua elevada densidade demográfica, assim além de reduzir o volume de resíduos que seriam destinados em aterros, é possível gerar energia por meio de calor. Em contrapartida aos benefícios, o Japão sofreu muito com os efeitos da poluição atmosférica como por dioxinas, furanos, metais pesados, material particulado, entre outros tantos poluentes que afetam a saúde e qualidade de vida da população. Atualmente existem severas legislações e tecnologias capazes de minimizar tais efeitos, embora ainda se tenha muita dificuldade em se obter a aceitação da população (SENADO FEDERAL, 2017; ALMEIDA *et al.*, 2013; BASTOS, 2013; FEAM, 2012; EPRI, 2011).

Assim, a gaseificação surge como um dos processos de termoconversão capaz de ser uma alternativa de destinação ambientalmente adequada de resíduos, pois segundo a Abrelpe (2015), é uma das soluções para a destinação final recomendada pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas da Organização das Nações Unidas (IPCC/ONU). Isso porque reduz a emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE) em comparação à aterros sanitários; possibilita a recuperação energética mais eficiente dos resíduos; substitui fontes fósseis de energia, o que otimiza os recursos naturais; exige menor área para sua implantação; pode ser instalada próxima aos centros urbanos; e ainda é possível gerar o gás de síntese denominado Syngas, o qual pode substituir combustíveis fósseis ou biomassa na produção de energia termelétrica, contribuindo para suprir a demanda energética (INFIESTA, 2015; LOPES, 2014; BASTOS, 2013; EPRI, 2011).

Embora a indústria papelreira seja o enfoque deste trabalho, o que se vê na literatura é uma gama de estudos voltados ao gerenciamento e aplicação de gaseificação dos resíduos sólidos urbanos. Pode-se entender o porquê de tal preocupação, visto as dificuldades encontradas pelas prefeituras, como ainda não dispor de recursos técnicos e financeiros para solucionar os problemas ligados à gestão de resíduos sólidos (MMA, 2017). Portanto, muitas das referências utilizadas neste trabalho são aplicações do tratamento por gaseificação voltados para os resíduos sólidos urbanos.

Neste ponto, não cabe ressaltar apenas as vantagens da aplicação dessa tecnologia, mas também as barreiras para implantação da mesma, como a legalização perante ao órgão ambiental, uma vez que ainda não é uma tecnologia estabelecida comercialmente.

Diante do exposto, objetiva-se fazer primeiramente um levantamento de dados da situação atual da empresa estudada, a fim de que se possa subsidiar o estudo baseado em um teste piloto de gaseificação visando a posterior conversão energética do gás de síntese.

4 METODOLOGIA

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO DE GERAÇÃO E DESTINAÇÃO DE PLÁSTICO E LODO

Os dados foram gentilmente cedidos por uma indústria de papel e celulose de uma multinacional do segmento de embalagens. A caracterização do cenário de geração e destinação dos resíduos foi realizada por meio de dados históricos do monitoramento da empresa em questão, sendo considerados a partir de 2012. Este período se justifica devido que progresso a esta data houve uma expansão na qual se instalou a planta de OCC e passou a ter tratamento de efluentes por lodo ativado.

4.2 OBTENÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

O teste piloto foi realizado nas instalações de uma empresa especializada no desenvolvimento de projetos de destinação e tratamento de resíduos, a qual desenvolveu e patenteou essa tecnologia.

No processo de gaseificação ocorrem complexas reações que ainda não são bem conhecidas, mas basicamente ocorre a subdivisão destas reações em quatro etapas físico-químicas com temperaturas de reação diferentes: secagem, pirólise, redução e combustão.

O tratamento em questão consiste em um processo de gaseificação dos resíduos que ocorre em um reator com atmosfera interna controlada, sem presença de oxigênio e em altas temperaturas, o que propicia a dissociação das moléculas constituintes dos materiais orgânicos presentes. Todos os materiais compostos de cadeias carbônicas têm suas moléculas divididas, transformando-se em gases de cadeias contendo 1 a 4 átomos de carbono, gerando uma mistura de gases que tem por afinidade o alto poder calorífico. Não obstante, dada a ausência de oxigênio em quantidades estequiometricamente suficientes, o hidrogênio contido nos materiais também acaba livre e aumenta o potencial energético do gás de síntese.

O processo tem alto rendimento de conversão, gera pouca cinza, destila a água contida nos materiais e não afeta a composição de materiais como vidro, cerâmicos e metais, que são expurgados do processo como inertes.

Com base no teste piloto realizado foi possível obter informações do processo especificamente para os resíduos em questão, como balanço de massa, estimativa de geração de resíduos, investimentos e retornos, e principalmente para viabilidade técnica do processo. Assim, durante o teste foram coletadas amostras dos resíduos gerados a fim de caracterizá-los, além da coleta e análise das emissões atmosféricas.

A viabilidade da conversão energética é dada pelo cálculo do balanço de massa e energia combinados a partir das misturas de resíduos disponíveis. Amostras dos gases gerados são tomadas por um laboratório volante de uma empresa especializada, que emitiu laudos com a composição química dos gases.

Os testes analisam o conteúdo qualitativo e quantitativo carbônico da amostra, embora também realizem a quantificação de água e inertes nela presentes. Destes, a água é o mais significativo para a viabilidade energética do projeto, pois tratando-se de um processo térmico, causa a evaporação da água presente - mesmo a contida na composição dos materiais – ou seja, essa mudança de estado que a mesma sofre consome uma quantidade considerável de energia. Portanto, a viabilidade energética da gaseificação de qualquer material está diretamente ligada ao seu teor de umidade, assim quando o mesmo é muito alto ou passível de variações significativas revelam a necessidade de um processo preparatório de secagem do resíduo e conseqüentemente um investimento adicional decorrente, o qual interfere no computo total dos custos e do retorno financeiro.

Os laudos emitidos revelam a composição do gás de síntese gerado, mas sobretudo seu potencial calorífico que é a informação mais importante no cálculo do balanço de massa e energia.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO CENÁRIO DE GERAÇÃO E DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS PLÁSTICOS E LODO

A composição e a geração dos resíduos são importantes quando se almeja estudar a viabilidade das usinas *waste-to-energy*, isso porque estes fatores são delimitadores e excludentes para o tipo de tecnologia mais indicada. Optou-se por direcionar a este estudo o lodo biológico e os resíduos plásticos gerados na planta de OCC.

O lodo é um resíduo gerado durante o tratamento dos efluentes, sendo neste caso separado em lodo primário e biológico, os quais são retirados no clarificador primário e decantador secundário, respectivamente (FIGURA 1). Ambos são processos físicos de tratamento que visam separar a fase sólida da líquida, entretanto para este estudo optou-se por usar o lodo biológico, já que o lodo primário está direcionado a outro estudo.

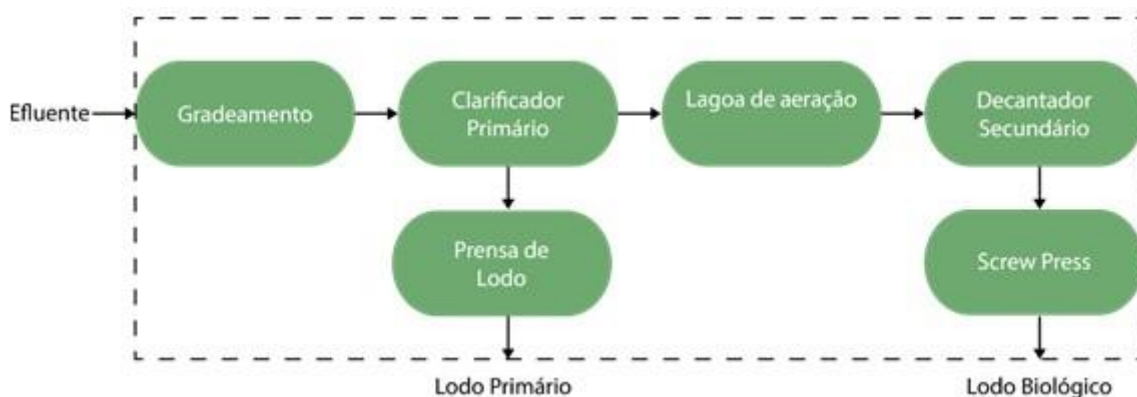


FIGURA 1 - FLUXOGRAMA ETE

FONTE: A Autora (2017)

Já os resíduos plásticos são gerados na planta de OCC, a qual visa a recuperação das fibras dos papéis recicláveis como embalagens e papelões. Estas necessitam ser depuradas muito mais que as fibras virgens em função dos membros indesejáveis acumulados durante toda a cadeia de coleta, triagem e recuperação. Esse processo de depuração nada mais é do que uma série de operações de peneiramento e centrifugação, visando a

remoção de impurezas e recuperação das fibras – assim vão sendo gerados os resíduos.

De acordo com a norma ABNT NBR 15483/2009, existem classificações para tipos de papéis a serem reciclados. No presente caso são usados dois tipos de papéis da família dos ondulados, que são destinados a fabricação de papéis *kraft* e miolo para embalagens de papelão: *clipping* e *aparas*.

O *clipping* é o refugo da produção de papel ou embalagens, ou seja, que ainda não foi comercializado. Já as *aparas* são papéis e embalagens que foram usadas pela população e recolhidas novamente para reciclagem. Assim, fica evidente que dependendo da matéria-prima que for processada haverá significativas interferências no volume e características de resíduos gerados. Quando a planta está usando *clipping* não há geração dos chamados resíduos plásticos, os quais abrangem o plástico em si e uma trança plástica.

As *aparas* vem amarradas em arames ou fitilhos plásticos, os quais vão ao processo juntamente com os fardos e em decorrência do movimento circular do *pulper* estes tendem a se enrolar uns nos outros e formar um aglomerado. Entretanto, se extraídos aos poucos continuarão se enrolando uns nos outros, mas com um formato comprido, como uma corda ou uma “trança”. Nem todos resíduos plásticos conseguem se enrolar na trança, então acabam sendo retirados em outras etapas do processo, conforme FIGURA 2 (MAXIMO, 2013).

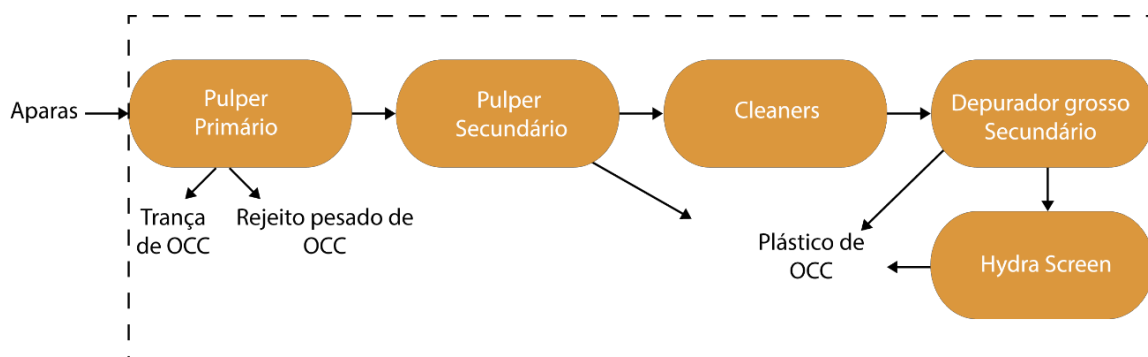


FIGURA 2 - FLUXOGRAMA OCC

FONTE: A Autora (2017)

Quanto a composição de cada um dos resíduos, tomou-se como base os resultados apresentados em laudos de caracterização realizados conforme NBRs 10004, 10005 e 10006, sendo classificados como classe II A - não perigoso e não inerte. O lodo é composto basicamente por matéria orgânica, já no plástico há um predomínio de polietileno e polipropileno com inclusões de PVC que podem chegar até 20% em volume. O plástico da trança é composto basicamente por polietileno proveniente de sacos, embalagens, etc.

Já referente a destinação final destes resíduos, para o lodo é a compostagem, e para os resíduos plásticos a reciclagem. O lodo mesmo antes de 2012 já era encaminhado à compostagem - que é realizado por uma empresa parceira terceirizada - e posteriormente comercializado com devido registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Mesmo sendo um processo realizado a muitos anos dentro da empresa, a região em que está instalada acarreta algumas dificuldades operacionais devido as condições meteorológicas como, por exemplo, em épocas chuvosas.

Já o plástico, até 2014 era mandado para o aterro industrial interno. A partir de 2015 passou a ser enviado para uma empresa que o recicla para fabricação de madeira plástica (aproximadamente 100 km de distância da fábrica), deixando de ser enviado 100% para em média 25% ao aterro - rejeito do processo de reciclagem. Já a trança começou a ser aceita nesse mesmo processo a partir de outubro de 2016, reduzindo a carga sobre o aterro, mas ainda mantendo também 25% de retorno.

Segundo os dados fornecidos pela empresa, em 2016 houve uma geração média em torno de 5037 Kg/h de lodo (85% de umidade), 220 Kg/h plástico (10% de umidade) e 174 Kg/h de trança (10% de umidade). Com a análise no cenário levantado foi possível definir os valores que serviram como base para desenvolvimento do teste piloto do processo de gaseificação.

5.2 TESTE PILOTO

Optou-se por direcionar a este estudo o lodo biológico e os resíduos plásticos, os quais estão descritos abaixo na TABELA 1.

TABELA 1 - Disponibilidade de material bruto

Substrato	Volume (kg/h)	Umidade (%)
Lodo biológico	5037	85
Plástico de tranças	174	10
Plástico de aparas	220	10
TOTAL	5.431	

FONTE: A Autora (2017)

O teste piloto foi realizado com base em cenário teste utilizando 100% dos três resíduos gerados, levando em conta a porcentagem de umidade real em cada um, totalizando ao final 5431 kg por hora de massa disponível para o processo. Entretanto, visando otimizar a performance da gaseificação quanto ao consumo de energia e a formação de gás de síntese, entende-se que o lodo secundário deve ter sua umidade reduzida de 85% para 40% antes de entrar no processo. Com essa determinação os volumes efetivos para serem considerados estão expressos na TABELA 2.

TABELA 2 - Disponibilidade de material bruto após secagem

Substrato	Volume (kg/h)	Umidade (%)
Lodo biológico	1.259,25	40
Plástico de tranças	174	10
Plástico de aparas	220	10
TOTAL	1.653,25	

FONTE: A Autora (2017)

Sendo assim, tem-se um volume para gaseificação de 1653,25 kg/h. Levando em consideração as indicações do fabricante, cada linha de processo tem a capacidade de 1,07 t/h, portanto devem ser instalados dois reatores totalizando 2,14 t/h, ou seja, será operado com 77,5% de sua capacidade.

O balanço de massa e energia calculam os potenciais de geração de

gás e co-geração de energia para a capacidade citada acima. Para estimar a energia disponível no processo levou-se em consideração a composição gravimétrica de cada material na massa final, bem como seus respectivos PCI, conforme TABELA 3.

TABELA 3 – Características energéticas

Composição Gravimétrica		PCI ¹
Lodo	82,74%	1903,02
Plásticos	17,26%	1329,02
PCI ²		3232,04

FONTE: A Autora (2017)

Portanto, multiplicando-se a massa disponível pelo PCI da mistura, tem-se que a energia teórica disponível no processo é de 5343,37 Mcal/h. Entretanto, definida que a eficiência de termoconversão é de 77,29%, tem-se uma geração de 4129,89 Mcal/h.

Considerando a utilização de geradores de Ciclo Otto para a co-geração de energia elétrica, segundo Miranda (2014) se tem uma eficiência de conversão de 30 a 35%, logo no mínimo chegará a um valor de 1239 Mcal/h de energia disponível, ou seja, tem-se 1437,24 MWh, ou ainda a uma taxa de conversão final em torno de 0,9 MWh/t.

Para fins de comparação, o rendimento frequentemente encontrado em estudos para usinas térmicas utilizando resíduos sólidos urbanos como principal insumo é em torno de 22%, ou seja, cerca de 0,5 MWh/t. Já para os incineradores especificamente, pode-se prever a geração de até 0,75 MWh/t, embora seja comum em torno de 0,55 MWh/t (INFIESTA, 2015; LOPES, 2014; MIRANDA, 2014; BASTOS, 2013; HENRIQUES, 2004).

Durante o processo foi necessário também se certificar quanto aos resíduos que podem ser gerados, quantificando-os e caracterizando-os, além da amostragem referente as emissões atmosféricas. Estes fatores também são primordiais para verificação da viabilidade de implantação do projeto.

¹ Poder Calorífico Inferior da Massa Integral (kcal/kg)

² Poder Calorífico Inferior da Mistura das Massas (kcal/kg)

Quanto as emissões foram seguidas as metodologias descritas nos métodos da ABNT, CETESB e USEPA para análise dos parâmetros material particulado, óxidos de enxofre, dioxinas e furanos - sendo os resultados apresentados na Tabela 4.

TABELA 4 - Resultados da amostragem para emissão atmosférica

Fonte	Parâmetro	Resultados	Padrões de emissão
	MP	70,97 mg/Nm ³	70 mg/Nm ³
Chaminé	SOx	14,44 mg/Nm ³	280 mg/Nm ³
do flare	Total PCDDs + PCDFs como 2, 3, 7, 8 TCDDs	0,037 ng/Nm ³	0,50 ng/Nm ³

FONTE: A Autora (2017)

Utilizou-se como comparação os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 316, de 29 de outubro de 2002, a qual dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos, mais especificamente no art. 38 que aborda sobre os limites máximos de emissão dos poluentes atmosféricos.

É possível verificar que embora o material particulado esteja pouco acima do limite, essas emissões não vão ocorrer, pois esse gás será direcionado para remoção das partículas a fim de realizar a conversão energética. Já os demais parâmetros se apresentaram muito abaixo dos limites estabelecidos pela legislação, ressaltando a questão já comentada quanto a dioxinas e furanos. Tal fato é fundamental para confirmação do relatado na revisão de literatura como uma das vantagens desse processo sobre os tradicionais tratamentos térmicos como a incineração, pois é justamente o fato de não ocorrer a geração de gases nocivos provenientes da combustão incompleta.

Já quanto aos resíduos, ocorreu uma geração de cerca de 5,3% de cinzas e 34% de um líquido oleoso, os quais foram coletados e enviados a análise de caracterização conforme NBRs 10004, 10005 e 10006. Os laudos enquadraram a cinza como Classe II A - Resíduo Não Perigoso e Não Inerte, o que significa que um ou mais parâmetros do solubilizado estavam acima dos valores máximos permitidos pelo Anexo G da NBR 10004. Neste caso

foram alumínio, cloreto, índice de fenóis, ferro, fluoreto, manganês, sódio, sulfato e surfactantes. Embora não tenha sido classificado como um resíduo inerte, é importante ressaltar que o mesmo não é um resíduo perigoso, logo abre-se um leque muito maior de opções para destinação ambientalmente correta do mesmo.

Quanto ao líquido oleoso foi classificado como Classe I - Resíduo Perigoso, o que significa que um ou mais parâmetros do Lixiviado e/ou Massa Bruta apresentaram-se acima dos valores máximos permitidos pelos anexos da NBR 10004, sendo que o benzeno foi o único parâmetro que excedeu. Existem sistemas de tratamento a nível terciário que são específicos e comumente são sistemas compactos para pequena geração de efluentes. Assim seria realizado um tratamento exclusivo para redução do benzeno com posterior direcionamento à ETE.

Obviamente que o que se preconiza é sempre a não geração e posteriormente a minimização ao máximo dos resíduos, entretanto neste caso é inevitável a geração e conseqüentemente a destinação final adequada dos mesmos.

A viabilidade econômica de um empreendimento deste tipo resulta do confronto do capital a ser investido na aquisição, instalação e custos de operação, com despesas eliminadas ou receitas que podem ser auferidas com o gás ou energia produzidos. Naturalmente tal estudo precisa ser elaborado pela própria empresa com dados locais de ambas direções, entretanto com os dados históricos de projetos e situações muito variadas que a empresa especializada vivenciou, permitiu-se um compilado da influência das principais variáveis estimando investimento e retorno. Assim, ponderou-se um investimento de aproximadamente R\$ 20 milhões (incluindo o processo necessário de secagem do lodo), com um retorno financeiro sobre o capital de investido em aproximadamente 36 meses.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do trabalho foi estudar a viabilidade de implantação de uma unidade de gaseificação para tratamento lodo e plástico provenientes de uma indústria de papel e celulose, além de buscar uma condição otimizada do processo, visando geração e utilização do gás de síntese para conversão energética.

As tecnologias de aproveitamento energético de resíduos são ferramentas importantes para estratégia de gerenciamento, pois evitam sobrecarregar os aterros e os passivos ambientais associados à disposição final de resíduos. O uso da tecnologia de gaseificação está de acordo com o que preconiza a PNRS, pois possibilita a solução para dois problemas existentes: o aumento da geração de resíduos e a crescente demanda energética.

Esta é a importância de estudo como este, que avalia não só o que a literatura apresenta, mas busca verificar na prática (teste piloto) quais seriam os proventos e dificuldades de operacionalizar um tratamento de resíduos específicos como o apresentado. O teste apontou ser uma alternativa atrativa, uma vez que substitui a carga destinada para dois processos de destinação diferentes, como a reciclagem que é realizada a 100 km do ponto de geração e destinação final dos rejeitos em aterro. Assim como é passível de geração considerável de 0,9 MWh/t de resíduos (com a redução de umidade do resíduo lodo de 85 para 40%), enaltecendo a emissão atmosférica significativamente mais brandas do que outros processos de termoconversão.

Em contrapartida a tantas possibilidades, há muitas barreiras ainda no Brasil para a implantação de usinas *waste-to-energy*, visto ao elevado investimento necessário e principalmente a falta de políticas públicas de incentivo as mesmas. A técnica em si apresenta-se como uma solução versátil, mas existem dificuldades ainda em transformar este potencial teórico em uma tecnologia viável e prática. Na maior parte dos casos, as dificuldades residem não no processo básico de gaseificação, mas no projeto do equipamento que deve produzir um gás de qualidade, com confiabilidade e segurança, adaptado às condições particulares do combustível e da

operação.

Cabe ressaltar que diferentemente das outras tecnologias de termoconversão, a gaseificação ainda não está comercialmente estabelecida, o que acarreta em algumas barreiras como a legalização perante ao órgão ambiental. Sendo assim, embora se tenha conseguido bons resultados e estimativas com o teste piloto apresentado, além de boas iniciativas nas referências quanto a estudos para resíduos sólidos urbanos, a gaseificação precisa do sucesso de demonstrações da sua aplicabilidade em escala comercial, a fim de expressar maior confiabilidade e conquistar espaço no mercado mundial.

REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 8419**: apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos: procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR-15483**: aparas de papel e papelão ondulado - classificação. Rio de Janeiro, 2009.

ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2015. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf/>>.

Acesso em: 16 de maio de 2017.

ALMEIDA, R. N.; PEDROTTI, A.; BITENCOURT, D. V.; SANTOS, L. C. P. A problemática dos resíduos sólidos urbanos. **Interfaces Científicas - Saúde e Ambiente**. Aracaju. v.2, n.1, p. 25 - 36, 2013.

BASTOS, B. Q. **Tecnologias de aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos**. 81 p. Projeto de Graduação (Curso de Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Legislação Federal. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 01 dezembro de 2016.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 316, de 29 de outubro de 2002**. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=-338>>.

Acesso em: 08 de maio de 2017.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Resíduos sólidos industriais**. Disponível em: <<http://residuossolidos.cetesb.sp.gov.br/residuos-solidos/residuos-industriais/introducao-residuos-industriais/>>. Acesso em: 08 de maio de 2017.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Aterro sanitário**. Disponível em: <<http://biogas.cetesb.sp.gov.br/aterro-sanitario/>>.

Acesso em: 16 de maio de 2017.

EPRI. **Electric Power Research Institute**. Waste-to-energy technology.

Opportunities for expanding renewable generation & reducing carbon emissions. California, 2011. 26 p.

FEAM, Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos: guia de orientação para governos municipais de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2012. 163 p.

FEAM, Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Orientações básicas para a operação de aterro sanitário**. Belo Horizonte, 2006.

HENRIQUES, R. M. **Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica**. 189 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

IBÁ, **Indústria Brasileira de Árvores**. Disponível em: <<http://iba.org/pt/>>. Acesso em: 07 de maio de 2017.

INFIESTA, L. R. **Gaseificação de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Vale do Paranapanema – Projeto CIVAP**. 122 p. Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

LOPES, E. J. **Desenvolvimento de sistema de gaseificação via análise de emissões atmosféricas**. 146 p. Tese (Engenharia e Ciência dos Materiais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais – PIPE) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

MAXIMO, I. S. **Uma diferente visão sobre o conceito de depuração em reciclagem**. 63 p. Monografia (Pós-Graduação em Celulose e Papel) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2013.

MIRANDA, L. H. T. G. **Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos: Estudo de caso no Município de Itanhaém-SP**. 121 p. Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

MMA. **Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/>>. Acesso em: 07 de maio de 2017.

NASCIMENTO, V. F.; SOBRAL, A. C.; ANDRADE, P. R.; OMETTO, J. P. H. B. **Evolução e desafios no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.** Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science. Taubaté, v. 10, n. 4, 2015.

PIRES, P. T. L. **Legislação e política ambiental.** 58 p. Apostila (MBA em Gestão Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

SENADO FEDERAL. **Em discussão.** Disponível em:

<<http://www12.senado.leg.br/emdiscussao/edicoes/residuos-solidos/mundo-rumo-a-4-bilhoes-de-toneladas-por-ano/como-alguns-paises-tratam-seus-residuos>>. Acesso em: 15 de maio de 2017.