



XICBPE

CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO

CUIABÁ - MT

11 a 14 de setembro de 2018

Gerenciamento de Risco no Aproveitamento Energético de Resíduos: Estudo de Caso na Aplicação de Tecnologia de Pirólise Lenta para Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos

RESUMO

A gestão ou gerenciamento de risco é um processo que, ao decorrer da aplicação de projetos de grande porte, é vital para identificar e avaliar o grau de risco de cada etapa do projeto. Devido à particularidade dos projetos, esse diagnóstico de riscos deve ser elaborado de modo individual, seguindo uma metodologia concisa que controle e minimize os riscos gerados. O tratamento de resíduos é uma etapa essencial para o ciclo sustentável de gestão de resíduos. Entre as diferentes tecnologias que auxiliam nesse aproveitamento energético de resíduos está a pirólise lenta a tambor rotativo, que contribui com a redução dos impactos ambientais decorrentes da incineração e do aterramento, com produção de gás de síntese e biocarvão que são ativos comerciais rentáveis. O presente trabalho avalia um estudo de caso na aquisição de uma unidade de pirólise lenta a tambor rotativo para tratamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) com geração de energia elétrica. Foram identificados 12 indicadores de riscos nas dimensões ambiental, econômica, social e técnica, cuja classificação dos riscos destes indicadores foi feita por análise qualitativa em 5 níveis (trivial, tolerável, substancial, moderado e intolerável) com probabilidade de ocorrência em baixo, médio e alto. Após a análise realizada, houve a avaliação da urgência de solução a partir de uma matriz probabilidade x risco. Conclui-se que o processo de

gerenciamento de riscos é vital para avaliar os riscos de maior urgência, o que permite colaborar com a viabilidade econômica favorável e contribuir para expansão do mercado de tecnologias inovadoras no aproveitamento energético de resíduos.

Palavras-chave: Gerenciamento de risco, pirólise lenta, energia, resíduos.

ABSTRACT

The management or risk management is a process that, in the course of the application of large projects, is vital to identify and evaluate the degree of risk of each stage of the project. Due to the particularity of the projects, this risk diagnosis should be elaborated individually, following a concise methodology that controls and minimizes the risks generated. Waste treatment is an essential step in the sustainable waste management cycle. Among the different technologies that help in this energy recovery of waste is the slow pyrolysis of rotary drum, which contributes to the reduction of the environmental impacts due to incineration and grounding, with the production of synthesis gas and bio-coal. The present work evaluates a case study on the acquisition of a slow-rotating pyrolysis unit for the treatment of urban solid waste (RSU) with electric power generation. A total of 12 indicators of environmental, economic, social and technical risks were identified. The risk classification of these indicators was made by a qualitative analysis in 5 levels (trivial, tolerable, substantial, moderate and intolerable) with probability of occurrence in low, medium and high. After the analysis, there was an evaluation of the urgency of solution from a probability x risk matrix. It is concluded that the risk management process is vital to assess the risks of greater urgency, which allows to collaborate with the favorable economic viability and to contribute to the expansion of the market of innovative technologies in the energy recovery of waste.

Keywords: Risk management, slow pyrolysis, energy, waste

1. INTRODUÇÃO

Das primeiras civilizações aos dias atuais, a evolução dos primeiros sistemas energéticos é inseparável da formação das sociedades. Desde nossos ancestrais consumimos o meio ambiente através da reversão para nosso benefício/existência de uma parcela cada vez maior da nossa biosfera a procura de energias e outras

facilidades. As tecnologias de apropriação da energia são indissociáveis das divisões e relações de exploração que se desenvolvem no universo social.

Na busca por minimizar os impactos ambientais oriundos da apropriação da natureza pelo ser humano, diversas soluções tecnológicas para o tratamento de resíduos surgiram ao longo das últimas três décadas. Algumas dessas soluções se mostraram sustentáveis e promissoras, enquanto outras servem apenas de paliativo e em muitos casos acabam por gerar novos passivos ambientais.

As tecnologias de incineração e autoclave auxiliam nesse tratamento e podem gerar retorno do que antes era perdido, no entanto, apresentam alto custo de implantação e operação, com necessidade de grande escala no empreendimento para ter viabilidade comercial, o que inviabiliza a aplicação na maioria dos municípios brasileiros que se caracterizam por serem de pequeno porte. Além dos impactos ambientais decorrentes do alto nível de emissão de poluentes atmosféricos e efluentes líquidos.

Outras tecnologias como a gaseificação favorece o aspecto ambiental, visto que é uma tecnologia térmica de tratamento que facilitaria em aspectos burocráticos a entrada de reatores de pirólise nesse mercado, principalmente sendo um facilitador para os estudos de licenciamento ambiental a serem realizados (KÜHL; OLIVEIRA; *et al.*, 2015; SOUZA *et al.*, 2015).

Quando avançamos no desenvolvimento tecnológico dos tratamentos térmicos, chegamos na pirólise, que consiste em uma decomposição termoquímica da matéria na ausência de oxigênio. A tecnologia de pirólise resulta na liberação de matéria nos três estados que são gás de síntese (gasoso), carvão vegetal (sólido) e bio-óleo (líquido). Esses insumos podem ser utilizados para geração de eletricidade e substrato vegetal para agricultura (CHAMON; CARDOSO; BARROS, 2013).

Partindo desse pressuposto, a questão central deste estudo é o gerenciamento dos riscos na aquisição de uma usina de pirólise lenta para tratamento de resíduos urbanos e geração de eletricidade, que consiste em um grande investimento, sendo um processo que possui diferentes determinantes que podem influenciar no tempo de retorno e expectativa de lucro com a comercialização do produto. O gerenciamento do projeto de aquisição, instalação e operação destas usinas são vitais para estabelecer estratégias de governança corporativa e prevenção de riscos, de modo a reduzir a probabilidade de prejuízos que possam acontecer durante todas as etapas da compra da usina e posterior comercialização da energia elétrica gerada.

2. GERENCIAMENTO DE RISCOS NO TRATAMENTO DE RESÍDUOS

Os custos financeiros de uma tecnologia térmica são dependentes de cinco fatores, sendo eles: investimento inicial requerido para o equipamento, adaptabilidade a diferentes classes de resíduos, área requerida, necessidade de pré-tratamento de resíduos e custo de disposição dos resíduos. Em termos de sustentabilidade devem ser avaliados no mínimo quatro determinantes que são o consumo de água, impacto no solo, cinza de resíduos produzida e emissões de poluentes atmosféricos (BURATTO *et al.*, 2017; KÜHL; MUNIZ; *et al.*, 2015).

Uma das questões relevantes na aquisição de tecnologias de tratamento de resíduos é identificar os riscos associados a essa fonte de geração elétrica. Na gestão de projetos, há o gerenciamento de riscos que consiste na etapa de determinar o escopo de riscos positivos e negativos do projeto avaliando se há a viabilidade econômica favorável, desse modo determinando a disponibilidade e oferta indicada pelo fabricante (MARCON *et al.*, 2016).

A gestão ou gerenciamento de risco é um processo que ao decorrer da aplicação de projetos de usinas é vital para identificar e avaliar o grau de risco de cada etapa do projeto. Devido à particularidade de cada projeto, esse diagnóstico de riscos deve ser elaborado de modo individual seguindo uma metodologia concisa que controle e minimize os riscos gerados, sendo que no caso estudado é o processo de aquisição e instalação de uma usina de Pirólise Lenta para geração de energia.

Atualmente o processo com maior aplicação para tratamento de resíduos no Brasil é o de aterro sanitário. A mesma demanda grande área de tratamento e disposição gerando um passivo ambiental o qual deve ser monitorado durante vinte anos após o término da disposição desses resíduos. No entanto devido à extensa área territorial nacional, o custo reduzido desse tipo de processo na instalação, permite o aumento destes depósitos de resíduos a curto e médio prazo o qual impactará nas gerações futuras. Além disso, há a formação de odores característicos, possibilidade de exposição de riscos a trabalhadores com o manuseio incorreto desses, e a resistência da população do entorno visto ao odor, ruído e desvalorização de seus imóveis (COSTA; RIBEIRO, 2013).

3. GESTÃO SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS ATRAVÉS DE PIRÓLISE

A pirólise é um processo de degradação térmica de hidrocarbonetos na ausência de oxigênio, desse modo requer uma fonte externa de calor visando aquecer

os resíduos em temperaturas de 300 a 800°C a uma taxa de aquecimento de 1 a 5° C por segundo (BURATTO *et al.*, 2017; CHAMON; CARDOSO; BARROS, 2013; KÜHL; MUNIZ; *et al.*, 2015).

As usinas de tratamento térmico de resíduos a partir de pirólise lenta a tambor rotativo (PLTR) foi destacada como a melhor tecnologia para aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos pelo Conselho Nacional de Pesquisa da Itália, e testado e aprovado por centros de pesquisa nacional (BRASILEIRO *et al.*, 2015; CHAMON; CARDOSO; BARROS, 2013).

A tecnologia de pirólise possui diferentes tipos de processo que possuem características distintas quanto à operação em tipo de reator, tempo de residência e temperatura, estas resultando conseqüentemente em diferentes produtos (CARTA; CRUCCU; DESOGUS, 2012; MUNIZ, 2015). O tempo de residência do processo é um fator determinante na tecnologia, sendo que este determina a proporção de cada produto que será gerado no reator, os quais são gases, líquidos e carbonáceos. A pirólise lenta consiste em longos períodos de residência os quais variam de 40 minutos á 1 hora em temperaturas que superam 400°C, alcançando no máximo 850 ° C (CHAMON; CARDOSO; BARROS, 2013; LOMBARDI; CARNEVALE; CORTI, 2015).

A tecnologia de Pirólise Lenta a Tambor Rotativo (PLTR) possui capacidade de tratamento para diferentes resíduos perigosos e não perigosos os quais podem estar classificados em resíduos sólidos industriais (RSI) resíduos sólidos urbanos (RSU) e resíduos de serviço de saúde (RSS) (CARTA; CRUCCU; DESOGUS, 2012).

Os resíduos dispostos devem ser triturados, possuindo granulometria na ordem de 50 mm, estes são transformados em hidrocarbonetos de cadeias menores, líquidos e gases. Na maioria dos resíduos há um alto teor de umidade, a qual é aproveitada no processo para transformar o alcatrão e carvão em hidrogênio e monóxido de carbono, os quais são compostos do gás de síntese utilizados na geração de eletricidade ou calor do processo (MUNIZ *et al.*, 2017).

Devido a essas características, a PLTR apresenta maior eficiência econômica e ambiental em comparação a outros tipos de pirólise, visto que geram de 85 a 90% de gás de síntese e de 10 a 15% de biochar que também é denominado biocarvão, e estes dois produtos possuem valor econômico a partir da geração de eletricidade e comercialização de fertilizante biológico.

O gás de síntese é composto de mistura de diferentes gases, os quais a proporção de gás é dependente principalmente do processo realizado e parâmetros de operação. A composição é geralmente de hidrogênio, monóxido de carbono,

nitrogênio, hidrocarbonetos leves (etano, metano, propano) e hidrogênio. Para ocorrer o funcionamento da usina, é necessário 30% do gás de síntese gerado no processo, desse modo a tecnologia se torna autossustentável, sendo que os 70% restantes podem ser aproveitados na geração elétrica ou térmica. Com o gerador a gás incorporado nesta pode-se ter uma eficiência de até 38% (MUNIZ *et al.*, 2017; RODRIGUES *et al.*, 2014). O biocarvão representando 10 a 15% pode beneficiar o solo onde este é disposto, sendo um ótimo condicionador de solo, visto que promove a troca catiônica e eleva a retenção de água, reduzindo a lixiviação de nitrogênio em águas subterrâneas. Diversos estudos comprovam que o biocarvão contribui com a melhoria nas características físicas, químicas e biológicas do solo (BRASILEIRO *et al.*, 2015; KÜHL; MUNIZ; *et al.*, 2015).

No país, há a alta disposição de resíduos municipais em lixões os quais são vetores de doenças e transformam um resíduo em um passivo ambiental com contaminação do solo, águas subterrâneas e ar local (RODRIGUES *et al.*, 2014). No aspecto ambiental, as emissões atmosféricas prejudiciais são reduzidas, sendo extremamente inferiores às normas das Resoluções CONAMA as quais possuem alto grau de restrição. A tecnologia não produz cinzas voláteis as quais contem dioxinas e furanos como ocorre no processo de incineração sendo que os únicos resíduos produzidos são inertes compostos por metais caso estes não tenham sido previamente separados no processo de triagem e cinzas inertes as quais são aproximadamente 15% do total de resíduo demandando uma área pequena de aterro sanitário para disposição (CARTA; CRUCCU; DESOGUS, 2012; CHEN *et al.*, 2015; RODRIGUES *et al.*, 2014).

No quesito nacional, pode-se avaliar que a tecnologia de pirólise apresenta alta capacidade de modularidade, podendo atender municípios com 20.000 habitantes e também ser projetada para municípios com população acima de 300.000 habitantes. Embora o tempo de retorno da viabilidade financeira do empreendimento seja mais favorável com o aumento da usina, quando há elevada distância ao centro de disposição favorece a aplicação em municípios pequenos ou formação de consórcios intermunicipais (CHAMON; CARDOSO; BARROS, 2013; MUNIZ *et al.*, 2017)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Há diferentes ferramentas utilizadas no método de gerenciamento de riscos, dentre estas estão à identificação de riscos e análise qualitativa, as quais são diretrizes para estabelecer a urgência na aplicação de medidas preventivas de curto

a longo prazo de modo que estes sejam solucionados com baixo custo e alto rendimento.

A Gestão de Riscos em Projetos está sendo escolhida em virtude da grande relevância e aceitação no mundo pela robustez da ferramenta em qualquer situação e pelos resultados que dela proporcionando uma maior visão no alcance dos objetivos das empresas. Há diversos fatores que, tanto podem auxiliar como prejudicar o êxito dos projetos, e um deles que se destaca, aos olhos do nível estratégico da empresa, é quais os riscos estarão entrando, e como irá gerenciá-los (OLIVEIRA, 2015).

Aos olhos dos diretores/investidores a mensuração exata dos riscos e suas causas são fundamentais para implantar qualquer que seja a metodologia organizacional ou tecnológica que venha lhes oferecer, e diante da necessidade eminente de redução de seus custos, a aquisição de tecnologias ainda em expansão trazem o receio de não terem sido medido os riscos que estarão expostos com a aquisição de tal usina de tratamento térmico por pirólise lenta.

Para auxiliá-los, deve-se avaliar os processos envolvidos no gerenciamento de riscos em projetos os quais envolvem planejamento, identificação, análise qualitativa e quantitativa, planejamento de respostas e controle de riscos de um projeto com objetivos de aumentar a probabilidade e o impacto dos eventos positivos e reduzir a probabilidade e o impacto dos eventos negativos no projeto. Seu objetivo é maximizar a exposição aos eventos positivos e minimizar a exposição aos eventos negativos.

De modo a identificar os riscos foram avaliadas análises de viabilidade econômica de diferentes possíveis compradores e avaliação de especialistas da área visando determinar de diferentes pontos, as variáveis de sustentabilidade do projeto. Dividiu-se estas em critérios ambiental, econômico, social e técnico determinando os indicadores e desse modo identificando o risco associado.

A análise qualitativa dos riscos se determinou a partir do método utilizado por Oliveira (2015), o qual foi adaptado do PMBOK sendo vital para determinar o cronograma de priorização das variáveis de sustentabilidade visto que esta ferramenta permite identificar a probabilidade e o impacto de cada risco, para estabelecer uma matriz que pode facilmente visualizar as variáveis que possuem maior urgência no processo de minimização dos riscos desta.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme descrito na metodologia houve a subdivisão dos indicadores e critérios, de modo a estabelecer para cada um destes riscos identificados na etapa de avaliação de compra da usina de pirólise lenta à tambor rotativo.

A Tabela 1 apresenta os quatro critérios fundamentais de uma tecnologia de tratamento de resíduos, especificados na metodologia, os quais apresentam diferentes indicadores e riscos que foram identificados pelos autores como prejudiciais a instalação de usinas no cenário nacional.

Tabela 1 - Identificação dos riscos por critérios com respectivos indicadores.

Critério	Indicador	Riscos identificados
Ambiental	Normatização	Normas específicas de licenciamento ambiental
Econômico	Produtividade	Variação do volume de resíduos a serem tratados
		Variação do gás de síntese gerado
	Fluxo de caixa	Custo de tratamento dos resíduos
		Variação do preço da energia
		Variação da classe de resíduos
	Variação dos custos de investimento	
	Variação dos custos operacionais	
Social	Geração da renda	Variação da renda da cooperativa de recicladores
Técnico	Tecnologias	Inovação
		Equipamentos concorrentes
		Recursos humanos
		Variação na expansão do mercado

Fonte: Adaptado de OLIVEIRA (2015).

A Tabela 2 apresenta a metodologia complementar da matriz de probabilidade x risco a qual a partir de uma análise quanti-qualitativa avalia e atribui notas a partir de escalas numéricas determinadas o grau de impacto e probabilidade de cada risco e identifica os que possuem maior prioridade de minimização.

Tabela 2 – Metodologia complementar da matriz probabilidade x riscos.

Número	Risco	Impacto	Probabilidade
1	Variação do volume de resíduos	Intolerável	Baixo
2	Variação do volume de gás de síntese	Intolerável	Baixo
3	Variação do custo de tratamento dos resíduos	Substancial	Alto
4	Variação do preço da energia	Substancial	Alto
5	Variação de classes de resíduos	Moderado	Alto
6	Variação dos custos de investimento	Substancial	Médio
7	Variação dos custos operacionais	Substancial	Médio
8	Variação da renda da cooperativas de recicladores	Moderado	Alto
9	Inovação	Moderado	Médio
10	Equipamentos concorrentes	Moderado	Médio
11	Recursos humanos	Substancial	Alto
12	Variação na expansão do mercado	Moderado	Médio

Fonte: Adaptado de OLIVEIRA (2015).

Verifica-se nas tabelas 1 e 2, que os riscos atribuídos ao critério econômico possuem a maior relevância na urgência no processo de minimização de riscos, sendo que a obtenção de dados históricos pode facilitar no reconhecimento e previsão do comportamento que estas variáveis terão influência nos próximos anos após a aquisição da usina.

Tabela 3 - Matriz probabilidade x riscos.

	<i>Trivial</i>	<i>Tolerável</i>	<i>Moderado</i>	<i>Substancial</i>	<i>Intolerável</i>
<i>Muito alto</i>					
<i>Alto</i>			5;8	3;4;11	
<i>Médio</i>			9;10;12	6;7	
<i>Baixo</i>					1;2
<i>Muito baixo</i>					

Fonte: Adaptado de PMBOK.

A Tabela 3 permite com facilidade visualizar os riscos, sendo uma ferramenta que facilita a inserção de um cronograma de atividades no gerenciamento de projetos,

desse modo colaborando com a compra do equipamento por mostrar ao investidor quais são as etapas que devem ser gerencialmente avaliadas com maior urgência.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo visa ser uma ferramenta de orientação aos investidores da Usina de Pirólise lenta à tambor rotativo procurando ser um auxílio na execução das ações de aquisição, minimizando os riscos do projeto, donde são variantes de acordo com o comprador e os resíduos a serem tratados.

A expansão do mercado do produto é uma das variáveis de sustentabilidade que contribuirão com a melhoria de estudos futuros em gerenciamento de riscos, pois a aquisição por diferentes categorias de indústrias, comércios e municípios de pequeno a grande porte a partir de uma pesquisa exploratória auxiliaria na perspectiva para compradores com padrões semelhantes.

Conclui-se que a aplicação do gerenciamento de riscos facilita na expansão do mercado do equipamento e é vital para elevar o sucesso da compra satisfatória e determinante para a divulgação e comercialização de projetos de tratamentos térmicos de resíduos urbanos, de saúde e indústrias, que ainda apresentam um pequeno mercado de participação no país.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. *Estimativas dos Custos para Viabilizar a Universalização da Destinação Adequada de Resíduos Sólidos no Brasil*. [S.l: s.n.], 2015.

ABRELPE. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil*. [S.l: s.n.], 2014.

BRASILEIRO, B. C. *et al.* Aplicação de Tecnologia de Tratamento de Resíduos Sólidos para Geração de Energia Elétrica em Sistemas Isolados na Amazônia: Estudo de Caso em Município na Ilha do Marajó, PA. 2015, [S.l: s.n.], 2015.

BURATTO, W. *et al.* Electricity generation with pyrolysis of health care wastes in Lages-SC. 2017, Mar del Plata - Argentina: [s.n.], 2017. p. 1–5.

CARTA, R.; CRUCCU, M.; DESOGUS, F. Slow , Wet and Catalytic Pyrolysis of Fowl Manure. v. 6, n. 12, p. 800–803, 2012.

CHAMON, R. C.; CARDOSO, R.; BARROS, C. F. Tratamento de Resíduos Sólidos urbanos, introduzindo uma nova tecnologia para o cenário brasileiro: Pirólise Lenta a Tambor Rotativo. *I Congresso Fluminense de Engenharia, Tecnologia e Meio Ambiente*

- UFF, 2013.

CHEN, D. *et al.* Reprint of: Pyrolysis technologies for municipal solid waste: A review. *Waste Management*, v. 37, p. 116–136, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.01.022>>.

COSTA, B. S.; RIBEIRO, J. C. J. *Gestão E Gerenciamento de Resíduos Sólidos: Direitos e Deveres*. Rio de Janeiro: Editora Lumen Juris, 2013.

KÜHL, R. M.; OLIVEIRA, G. M. T. DA S. DE; *et al.* Avaliação de Sistemas Alternativos para Geração de Energia Elétrica e Térmica: um estudo de caso no restaurante universitário da Universidade Federal Rural da Amazônia. p. 1–6, 2015.

KÜHL, R. M.; MUNIZ, R. N.; *et al.* Tecnologia Para Tratamento Térmico de Resíduos Sólidos: Uma Abordagem Energética. p. 2010–2015, 2015.

LOMBARDI, L.; CARNEVALE, E.; CORTI, A. A review of technologies and performances of thermal treatment systems for energy recovery from waste. *Waste Management*, v. 37, p. 26–44, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2014.11.010>>.

MARCON, F. *et al.* GERENCIAMENTO DE RISCO NA GESTÃO DE PROJETOS: ESTUDO DE CASO DE PROJETOS NA GERAÇÃO DE ENERGIA. 2016, São Paulo: [s.n.], 2016. Disponível em: <<https://singep.org.br/5singep/resultado/9.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

MUNIZ, R. N. *et al.* *Atualização do Projeto Básico de Engenharia UAER – SSBV*. São Sebastião da Boa Vista: Prefeitura Municipal de São Sebastião da Boa Vista, 2017.

MUNIZ, R. N. *Desafios e Oportunidades para o Acesso Universal à Energia Elétrica na Amazônia*. 2015. 170 f. Universidade Federal do Pará, 2015. Disponível em: <<http://ppgee.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/Rafael Ninon Muniz.pdf>>.

OLIVEIRA, R. C. *Metodologia de Análise de Risco de Investimento em Projetos de Eficiência Energética com Aplicação no Aproveitamento da Biomassa Residual do Dendê na Amazônia*. 2015. UFPA, 2015. Disponível em: <<http://www.ppgee.ufpa.br/ARQUIVOS/teses/Rosana Cavalcante de Oliveira.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

RODRIGUES, V. *et al.* Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos e Produção de Energia : Análise de Legislação para Viabilidade Econômica de Soluções. *XI Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia*, p. 10, 2014. Disponível em:

<<http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos14/43220492.pdf>>.

SOUZA, N. P. DE *et al.* A Biomassa Entre As Vocações Energéticas Da Amazônia : Comparativo Financeiro E Socioeconômico De Sistemas De Energia Aplicáveis À Uma Comunidade. 2015.