

Análise técnica e econômica da tecnologia de pirólise lenta de resíduos de saúde para geração de eletricidade em Lages-SC
Technical and economic analysis of health waste slow pyrolysis for electricity generation in Lages-SC

William Gouvêa Buratto^{1*}, Ana Emília Sieglloch², Juliana Aparecida Souza Amarante³, Rafael Ninno Muniz⁴, Valdeci José Costa⁵, Camilo Bastos Ribeiro⁶, Geovanny Broetto Besinella⁷, Matheus Vitor Diniz Gueri⁸

¹ Acadêmico de Engenharia Elétrica, Bolsista do Programa de Iniciação Tecnológica – PIBIT/CNPQ

² Professora Dra. Coordenadora do Programa de Mestrado em Ambiente e Saúde – PPGAS/UNIPLAC

³ Mestre no Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Saúde da Universidade do Planalto Catarinense

⁴ Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará-UFPA, campus Belém-PA

⁵ Professor Dr. do Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica

⁶ Mestrando no Programa de Pós-graduação em Bioenergia na Universidade Estadual do Centro Oeste-UNICENTRO, campus Irati-PR

⁷ Mestrando no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste-UNIOESTE, campus Cascavel-PR

⁸ Doutorando no Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste-UNIOESTE, campus Cascavel-PR

*Autor para correspondência, E-mail: williamburatto@gmail.com

Article history

Received: 24 July 2017

Accepted: 02 August 2017

Available online: 25 August 2017

Resumo: O presente estudo teve como objetivos realizar a análise técnica e econômica sobre os processos térmicos de geração de eletricidade e fazer a comparação destes em relação à sustentabilidade, área requerida para instalação e geração energética por resíduo. A partir disto verificou que para o tratamento de resíduos de saúde, a pirólise lenta se apresenta como a melhor alternativa em relação a estes parâmetros. Realizou-se a análise quantitativa de resíduos de serviços de saúde no município de Lages - SC visando avaliar a viabilidade financeira desta tecnologia para geração de eletricidade. Por meio da análise econômica verificou-se que os custos atuais de tratamento do resíduo grupo A inviabilizam a implantação da usina, embora a geração de resíduos seja suficiente para operar uma unidade de pirólise de 50 kWe, o tempo de retorno a partir do custo referência é equivalente ao tempo de vida útil da unidade de pirólise que é de 25 anos. Mediante a este problema, foram simulados três diferentes cenários e verificou-se que se a viabilidade econômica só ocorreria se o custo de tratamento fosse o dobro ou o triplo do atual sendo situado em 1,86 R\$/litro ou 2,50 R\$/litro, viabilizando a usina em 19 anos, 2 anos para retorno do investimento de acionistas, e de 7 a 5 anos caso sejam utilizados os recursos dos próprios hospitais. Palavras-chave: resíduos sólidos, pirólise lenta, energia elétrica.

Abstract: The present study aimed to perform the technical and economic analysis on the thermal processes of electricity generation and compare them in relation to sustainability, an area required for installation and energy generation by waste. From this it was verified that for the treatment of health residues, the slow pyrolysis presents itself as the best alternative in relation to these parameters. The quantitative analysis of health service residues was carried out in the city of Lages aiming to evaluate the financial viability of this technology for electricity generation. By means of the economic analysis, it was verified that the current costs of treatment of the residue group A make the implantation of the plant unfeasible, although the generation of waste is enough to operate a pyrolysis unit of 50 kW, the time of return from the reference cost is equivalent to the useful life of the pyrolysis unit which is 25 years. Through this problem, three different scenarios were simulated and it was verified that if the economic viability would occur if the cost of treatment were double or triple the current one being situated at 1.86 R \$ / liter or 2.50 R \$ / Liter, making the plant feasible in 19 years and 2 years for investment by stakeholders, and from 7 to 5 years if the resources of the hospitals themselves are used respectively.

Keywords: solid wastes; slow pyrolysis; electrical energy.

1. Introdução

Os resíduos de serviços de saúde (RSS) possuem elevada toxicidade, podem apresentar risco de contaminação ambiental e problemas relacionados à saúde e segurança da população. Atualmente são poucas as tecnologias que apresentam alternativas eficientes para o tratamento destes resíduos, devido, principalmente, à periculosidade dos componentes dos RSS (Anvisa, 2006).

O tratamento dos RSS, no estado de Santa Catarina, é realizado principalmente por meio de autoclave e incineração, no entanto, outras tecnologias podem ser utilizadas promovendo maiores benefícios ambientais e econômicos (ABRELPE, 2014). Apesar do tratamento por autoclave possuir alta eficiência e ser de simples operação, não ocorre a redução no volume dos resíduos após o processo. Nesse caso, a autoclave possui como desvantagem a não descaracterização do resíduo e os materiais perfuro cortantes continuam com as características originais (Ministério da Saúde, 2001). A operação inadequada na autoclave pode implicar em impactos no solo, águas superficiais e subterrâneas. Segundo Naime & Ramalho (2008) podem ocorrer epidemias ou endemias em consequência de contaminações por diferentes classes de RSS no lençol freático e no solo.

A incineração é uma das principais tecnologias aplicadas para o tratamento de RSS e possui a vantagem de reduzir de 80 à 95% o volume dos resíduos, promovendo, portanto, a sua descaracterização completa. No entanto, essa tecnologia apresenta elevado custo de implementação e operação, podendo, ainda, emitir elevadas concentrações de gases e vapores tóxicos para a atmosfera, tais como as dioxinas e furanos (Ministério da Saúde, 2001).

A pirólise, por sua vez, consiste em um processo endotérmico, ou seja, necessita de uma fonte externa de calor e ocorre na ausência de oxigênio. A classificação do tipo de pirólise depende do tempo de residência dos resíduos e temperatura de operação (Reichert, 2012).

A pirólise lenta possui algumas vantagens em relação à autoclave e à incineração: capacidade de tratamento de resíduos de alta periculosidade; alto rendimento global na produção de energia elétrica e calor; eficiências termodinâmicas superiores e; redução na emissão de poluentes atmosféricos (Rodrigues *et al.*, 2014).

A pirólise lenta a tambor rotativo consiste em uma tecnologia italo-brasileira das empresas MAIM e INNOVA, sendo que, no país existe uma unidade em operação na cidade de Paulínia. O equipamento possui simplicidade e flexibilidade na operação, possuindo dimensões modulares, ou seja, ocupa menor área em relação a outras tecnologias que possuem a mesma capacidade de geração elétrica, podendo se tornar um equipamento apto para operação descentralizada, evitando transporte a longas distâncias (Muniz *et al.*, 2013).

2. Estado da arte

As técnicas de tratamento térmico são avaliadas principalmente pelos parâmetros de custo, adaptabilidade, eficiência térmica dos resíduos que serão tratados, sustentabilidade, área requerida e visão social da tecnologia (Kühl *et al.*, 2015). No presente estudo, serão avaliadas as tecnologias de incineração, gaseificação e pirólise, sendo realizadas comparações técnicas de modo a avaliar a tecnologia que garante o tratamento dos resíduos de saúde com melhor custo benefício aos parâmetros descritos anteriormente.

Os custos financeiros de uma tecnologia térmica dependem principalmente do 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 tratados. Em termos de sustentabilidade deve ser avaliado o consumo de água, impacto no solo, cinza de resíduos produzida e emissões de poluentes atmosféricos.

A tabela 1 indica um comparativo entre as tecnologias de tratamento térmico que são utilizadas no país, sendo avaliados diferentes parâmetros de modo a avaliar a melhor tecnologia para tratar RSS.

A autoclave apresenta custo baixo, no entanto, os resíduos tratados não apresentam redução no volume e necessitam da disposição destes em aterro sanitário ocorrendo impacto no solo. A flexibilidade do combustível é baixo devido à operação tratar somente resíduos do Grupo A, sendo que resíduos Grupo B necessitam de tratamento térmico como a pirólise ou incineração. Esta tecnologia faz a esterilização por vapor necessitando de alto consumo de água, os resíduos dispostos apresentam biodegradabilidade baixa e alto grau de impacto no solo, a emissão de poluentes atmosféricos é nula neste equipamento. A visão social é considerada média porque o equipamento pode apresentar maus odores e gerar aerossóis (Eleuterio *et al.*, 2008).

Segundo Pereira *et al.* (2012), o tratamento por micro-ondas apresenta alto custo, embora apresente baixo custo de manutenção, a área requerida para instalação é pequena, não ocorre a emissão de efluentes líquidos e gasosos, no entanto o resíduo tratado deve ser disposto em aterro apresentando alto impacto no solo. A flexibilidade de combustível é baixa, pois pode ocorrer o tratamento de resíduos Grupo A e E com a tecnologia de micro-ondas. A visão social é considerada média por não haver odores e ruídos no processo apresentando alta eficiência térmica.

Tabela 1. Comparativo entre tecnologias de tratamento térmico de resíduos de saúde.

Parâmetros	Autoclave	Incineração	Microondas	Pirólise
Custos financeiros	Médio	Alto	Alto	Médio
Custo do equipamento	Baixo	Alto	Alto	Médio
Flexibilidade de combustível	Baixo	Médio	Baixo	Alto
Área requerida	Baixo	Médio	Baixo	Baixo
Necessidade de pré-tratamento dos resíduos	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
Custo de disposição dos resíduos tratados	Alto	Baixo	Alto	Baixo
Sustentabilidade do sistema	Médio	Baixo	Médio	Alto
Impacto no solo	Alto	Alto	Médio	Médio
Emissões atmosféricas	Baixo	Alto	Baixo	Baixo
Consumo de água	Alto	Alto	Médio	Baixo
Eficiência térmica	Médio	Médio	Alto	Alto
Visão social	Médio	Baixo	Médio	Médio

Fonte: Muniz (2015); Eleuterio *et al.* (2008); Pereira *et al.* (2012).

Os incineradores tem alto custo de instalação, operação e manutenção, a necessidade de área requerida é media e por reduzir o volume inicial até 90%, o custo de disposição é baixo e não há a necessidade de pré-tratamento dos resíduos. A sustentabilidade do sistema é baixa por apresentar alto grau de impacto no solo, emissões atmosféricas e consumo de água. A visão social é baixo devida à característica de mínima sustentabilidade pela emissão de substâncias tóxicas e ruídos (Eleuterio *et al.*, 2008).

A pirólise tem um custo financeiro médio por ter flexibilidade na operação de combustível e reduzir consideravelmente o volume para disposição. A sustentabilidade do sistema é alta, pois esta produz como subproduto o biocarvão que pode ser utilizado como fertilizante no solo, por ser uma tecnologia que trata termicamente na ausência de oxigênio, há a redução de compostos poluentes atmosféricos, a eficiência térmica e elétrica é alta em comparação as outras tecnologias, visto que esta e a gaseificação são as tecnologias com capacidade para geração de eletricidade, desse modo à visão social é mediana por apresentar baixo ruído, menor demanda de área requerida e gerar eletricidade a partir de resíduos (Kuhl *et al.*, 2015).

A partir da relação ótima entre parâmetros foi avaliado que a pirólise constitui-se na tecnologia mais promissora para resíduos de serviços de saúde. No presente estudo será avaliada a técnica de pirólise lenta a tambor rotativo que opera com temperaturas variando de 400°C a 850°C, tendo tempo de residência dos resíduos no reator em um período de 40 minutos a 1 hora, devido à isto é considerada lenta em comparação a pirólise rápida na qual os resíduos se mantem no reator durante 2 segundos (Muniz, 2015).

Os resíduos devem ter granulometria até a ordem de 50 mm, possibilitando o tratamento de uma grande variedade de resíduos, nesse processo ocorre a transformação dos resíduos em gás de síntese, que posteriormente é purificado para geração de eletricidade. A purificação do gás de síntese promove ganho na eficiência elétrica e redução na emissão de poluentes (Reichert, 2012).

No processo de pirólise, os resíduos dispostos são transformados em hidrocarbonetos de cadeias menores, líquidos e gases. Devido à alta umidade presente nos resíduos principalmente em materiais biológicos, terá a sua mudança de estado para vapor da água, o qual é utilizado como reagente para promover a transformação de alcatrão e carvão em hidrogênio e monóxido de carbono, os quais são compostos presentes no gás de síntese (Muniz, 2015).

A composição do gás de síntese decorre do processo que é realizado e dos parâmetros que foram utilizados, no entanto, este composto é uma mistura de gases que são o hidrogênio, hidrocarbonetos leves

(metano, etano e propano), monóxido de carbono, nitrogênio e oxigênio. A pirólise lenta a tambor rotativo produz de 85 a 90 % de gás de síntese e de 10 a 15% de biochar, sendo que estes dois produtos da pirólise lenta apresentam cunho econômico, tendo como produção de eletricidade e fertilizante biológico as suas principais aplicações (Chamon, Cardoso e Barros, 2013).

O *biochar* também denominado biocarvão, promove o aumento da capacidade de troca catiônica no solo, promovendo a melhoria na fertilidade do solo além de aumentar a retenção de água e reduzir a lixiviação de nitrogênio em águas subterrâneas, tornando-se uma alternativa propícia para correções no solo (Maia, Madari e Novotny, 2011).

3. Metodologia

O presente estudo foi de caráter exploratório, sendo realizada uma pesquisa quantitativa dos resíduos dos RSS nas instituições de saúde do município de Lages-SC, localizado no planalto catarinense. Posteriormente, foi avaliada financeiramente a implantação de uma unidade de pirólise no município.

Foi realizada a coleta de dados por questionários estruturados por classe de resíduo de acordo com a regulamentação da ANVISA, de modo a permitir a quantificação dos RSS e analisar o custo atribuído à estes.

A pesquisa teve como participantes: as instituições de saúde com maior representatividade no atendimento e geração de resíduos do Planalto Catarinense; as empresas responsáveis pela gestão dos RSS de órgãos públicos e privados.

A partir dos dados correspondentes à quantificação dos RSS, foi realizada a análise financeira, por meio de cálculos de demanda e variáveis financeiras. Nessa análise foram obtidos a Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Líquido (VPL) e Payback (retorno de investimento).

A taxa interna de retorno (TIR) é a taxa de desconto de um investimento que anule o Valor Presente Líquido (VPL), ou seja, equivale a taxa esperada de retorno dos investidores. Para determinar a TIR, utiliza-se a Eq. (1)

$$\sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} \quad (1)$$

sendo FC_t o fluxo de caixa do período, t o período de tempo que ocorre o fluxo de caixa, n o período do fluxo de caixa do projeto.

O valor presente líquido (VPL) consiste na diferença entre as receitas e os custos para uma taxa de desconto (Rezende e Oliveira, 2008). No presente estudo foi considerado 12% como a taxa de desconto que representa a taxa mínima de atratividade (TMA) de juros recebidos aos acionistas e o projeto. De modo a calcular o valor presente líquido utiliza-se a Eq. (2)

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j(1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j(1+i)^{-j}, \quad (2)$$

sendo n a duração do projeto em anos, R_j a receita no final do ano j , j o período de tempo considerado, i a taxa de desconto, C_j o custo no final do período.

O tempo de retorno do investimento, também denominado *payback*, é o período em que serão recuperados os recursos financeiros disponibilizados pelo projeto para os acionistas.

A avaliação financeira deve comparar o desembolso efetivo das instituições de saúde para o transporte e tratamentos atuais, comparando o custo estimado para implementação e operação de um sistema de pirólise lenta a tambor rotativo, analisando se esta tecnologia é viável financeiramente e ambientalmente (Novi et al., 2013).

Os aspectos econômicos foram avaliados por duas figuras representativas financeiras que são pelos acionistas ou projeto. A análise de sensibilidade referente ao acionista é quando os recursos econômicos para a construção da usina são disponibilizados por investidores, e após o início da operação adquirem os dividendos da produção elétrica como juros recebidos. Também pode ser avaliado por meio do projeto quando os recursos financeiros são próprios, ou seja, oriundos dos hospitais.

Foi avaliada a análise de sensibilidade de quatro diferentes cenários, os quais se fundamentaram a partir do custo de tratamento referência das Tabelas 3, 4 e 5, o qual foi estabelecido pela média dos preços de disposição e tratamento dos 4 hospitais descrito nos questionário.

4. Resultados e discussão

Por meio da Tabela 2, verifica-se que as unidades hospitalares entrevistadas geram volume suficiente para operar uma unidade de pirólise que possui porte para tratamento de duas toneladas diárias.

Esta capacidade de tratamento com volume máximo é vital para viabilizar a operação da unidade de pirólise, sendo que a operação com produção menor de 2 toneladas diárias elevaria o custo e também o tempo de retorno de investimento, pois o consumo energético que é de 20 kWe da unidade de pirólise apresenta custo fixo de operação. A Tabela 2 corresponde ao volume quantitativo semanal dos RSS. O questionário permitiu verificar que a separação ocorre em lixeiras identificadas, sendo esta etapa executada por profissionais de enfermagem e higienização.

Tabela 2. Volume semanal de resíduos.

Unidades de Serviços de Saúde	Resíduo Grupo A (L/semana)	Resíduo Grupo E (L/semana)	Resíduo Grupo B (kg/semana)
Hospital 1	600	90	20
Hospital 2	1150	80	74.18
Hospital 3	10300	556	45
Hospital 4	400	30	7.5

Os principais resíduos gerados, conforme verificado na tabela 2, são o Grupo A, E e B, que são resíduos com presença de material biológico, perfuro cortantes e compostos químicos com características de inflamabilidade, reatividade e toxicidade respectivamente.

Através dos questionários, verificou-se que, o tratamento dos resíduos ocorre principalmente por autoclave e incinerador situado em municípios com distância superiores à 400 quilômetros, sendo posteriormente destinados posteriormente em aterros de classe I e II.

Os resíduos do grupo A e E apresentam o volume de maior representatividade local, sendo que, o tratamento utilizado atualmente é a autoclave com capacidade de esterilização de 4,4 m³ de resíduo por ciclo equivalente a 50 minutos, para posteriormente serem dispostos em aterro de classe II.

Para realizar o tratamento dos resíduos do grupo B, são utilizadas diferentes tecnologias, as quais correspondem à incineração, neutralização ou blindagem, de acordo com a característica química do resíduo. Devido a esta complexidade de tratamento do resíduo grupo B, o custo de coleta é mais elevado em comparação aos resíduos do Grupo A e E, situando em média de 5,50 R\$/kg para as instituições de saúde. No entanto, de acordo com os gestores dos hospitais entrevistados, esta classe de resíduo representa aproximadamente 5% do volume semanal gerado de resíduos, não apresentando impacto econômico considerável na viabilidade econômica da unidade de pirólise.

A viabilidade econômica do presente estudo apresentou os parâmetros financeiros negativos para a taxa cobrada atual, a qual é de 0,83R\$/L em média para resíduos do Grupo A e E, os quais são resíduos biológicos e perfuro cortantes. Na Tabela 3, verifica-se a receita total de uma unidade de pirólise para 4 cenários.

Tabela 3. Análise da receita total da usina de pirólise.

Preço médio dos componentes da receita	Referência	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	
Taxa de tratabilidade Resíduo + Transporte	R\$/tonelada	830	1750	2000	2500
Energia Elétrica para Exportação	R\$/MWh	500	500	500	500
Receita Bruta Fixa Anual	Referência	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	
Tratabilidade	R\$/ano	490,779	1,034,775	1,182,600	1,478,250
Energia Elétrica	R\$/ano	118,260	118,260	118,260	118,260
Receita Total	R\$/ano	609,039	1,153,035	1,300,860	1,596,510

A Tabela 4 é referente à análise de sensibilidade do acionista, os quais são os investidores que disponibilizarão recursos financeiros e também para o projeto, prevendo a taxa mínima de atratividade de 12% correspondente aos juros que os investidores estariam dispostos a lucrar.

Por meio da Tabela 4, identificou-se que, com o valor referente aos custos de referência, a análise financeira apresentou caráter negativo com uma taxa interna de retorno (TIR) negativa de 3,43% ao ano,

apresentando um tempo de retorno de investimento de 25 anos, o qual é equivalente á vida útil do equipamento, desse modo o projeto torna-se inviável atualmente

Tabela 4. Análise de sensibilidade referente ao acionista.

		Acionista			
Parâmetros		Referência	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
VPL (12%)	R\$	1.055.386,00	1.279.552	434.071	1.258.816
TIR	aa (%)	-3,43	-6,74	5,45	34,02
Payback simples	anos	25	25	19,04	2,02

No cenário 3, no qual foi considerado o custo de tratamento de 2500 R\$/ton houve um tempo de retorno de investimento com prazo curto o qual seria viável financeiramente a empresas privadas e públicas.

Através das Tabelas 4 e 5, avaliou-se que, havendo o aumento das taxas para 2.000 R\$/ton (conforme verificado na tabela 3), ocorreria a viabilidade econômica favorável da unidade de pirólise, visto que a TIR elevou e o *payback* foi reduzido. Entretanto, a inflação do preço deste tratamento elevaria consideravelmente os custos para cada hospital visto que estes geram milhares de quilos por semana.

Tabela 5. Análise de sensibilidade do investimento referente ao projeto.

		Projeto			
Parâmetros		Referencia	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
VPL (12%)	R\$	429.708	618.213	197.434	1.828.728
TIR	aa (%)	7,3	6	11,1	19,6
Payback simples	anos	7	7	7	4,82

Comparando com o estudo de Rodrigues *et al.* (2014), verifica-se que a tecnologia de pirólise lenta apresenta viabilidade financeira quando consumida no próprio local, podendo suprir a demanda de geradores em horários de pico que são quando o custo da eletricidade se torna mais elevado. A compensação elétrica gerada é apenas um dos benefícios, visto que há a redução de custos considerável com os custos de transporte devido ao menor volume gerado e consequentemente eleva o aumento de vida útil dos aterros de classe I e II.

5. Conclusões

Verificou-se, a partir do presente estudo que, o volume total de resíduos produzidos no município é suficiente para a geração elétrica de uma planta de pirólise, entretanto a viabilidade econômica é desfavorável.

Identificou-se que, há a necessidade de avaliação de resíduos industriais perigosos (classe I), analisando o custo de tratamento e disposição dos mesmos, visto que os resíduos de classe I apresentam alto custo devido à complexidade de tratamento. Assim, poderia ser intercalada a operação da usina de pirólise com resíduos de saúde e industriais, podendo beneficiar na viabilidade econômica favorável. Pode ser avaliado também o custo para municípios menores próximos que apresentam maior custo de tratamento visto que há a menor geração de resíduos produzidos.

Os resíduos sólidos comuns e industriais também podem contribuir com a garantia de fornecimento de resíduos para a unidade de pirólise. Foi verificado que a maioria dos resíduos pertence ao grupo A, e estes apresentam alta umidade, devido a esta característica, o tratamento por pirólise consiste na tecnologia que possui maior adaptabilidade e eficiência. Se houver a mistura dos resíduos de saúde com combustíveis derivados de resíduos urbanos (CDRs) ou resíduos industriais classe I, a pirólise apresenta eficiência termodinâmica alta e contribuiria com a maior sustentabilidade do processo, visto que geraria menor volume de compostos poluentes.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Iniciação tecnológica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Brasil) pelo apoio financeiro e também a todos os entrevistados por contribuírem com o estudo.

Referências bibliográficas

- ANVISA. Manual de gerenciamento de resíduos de serviços de saúde / Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária – Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 182 p.
- Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil - 2014. 2015. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>. Acesso em: jun 2017.
- Caibre, D. I.; Pandolfo, A.; Berticelli, R.; Brum, E.M.; Gomes, A. P. Análise da viabilidade econômica do processo de pirólise para tratamento de resíduos sólidos urbanos: Estudo de caso aplicado a uma cidade de médio porte. *Revista de Ciências Ambientais*. Canoas, v.10, n.2, p.67-88, 2016.
- 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. Niterói-RJ. 2013.
- Eleuterio, J. P. M.; Hamada, J; Padim, A.F. Gerenciamento Eficaz no tratamento dos resíduos de serviços de saúde – Estudo de duas tecnologias térmicas. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro-RJ. 2008.
- Kühl, R.M.; Muniz, R.N.; Brasileiro, B.C.; Souza, N. P.; Neto, P. C. R.; Cruz, M. Sá, J. A. S.; Rocha, B. R. P. Tecnologias para tratamento térmico de resíduos sólidos: Uma abordagem energética. In: 10º Congresso Internacional de Bionergia. São Paulo-SP. 2015.
- Maia, C. M. B. F; Madari, B. E.; Novotny, E. *Advances in biochar research in Brazil*. *Dynamic Soil, Dynamic Plant*. 5 (Special Issue 1), p. 53-58, 2011.
- Melo, G. C. B.; Filho, A. T.; Borges, M. E.; Bicalho, P. A.; Valente, V. B. Avaliação de desempenho de um reator de pirólise no tratamento de uma amostra simulada de resíduos sólidos de serviços de saúde. IX Seminário Nacional de Resíduos Sólidos. Associação brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Palmas-TO. 2008.
- Ministério da Saúde, Secretaria Executiva, Projeto Reforço à Reorganização do Sistema Único de Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2001. 120p.: il. ISBN 85-334-0369-0 I. Resíduos de serviços de saúde – Prevenção e controle. I. Brasil. Ministério da Saúde. II. Brasil. Secretaria Executiva. Projeto Reforço à Reorganização do Sistema Único de Saúde. III. Título. NLM WA 790 DB8.
- Muniz, R. N.; Araujo, E. C.; Junior, A. I.; Rodrigues, F. C.; Oliveira, M.; Estrázulas, M.; Souza, N. G.; Abreu, S. Projeto Básico de Engenharia UAER – SSBV Usina de aproveitamento energético de resíduos são sebastião da boa vista – Marajó, Pará. 98pp. 2013.
- Naime, R.; Ramalho, A. H. P. Avaliação do Sistema de Gestão dos Resíduos Sólidos do Hospital das Clínicas de Porto Alegre. *Revista espaço para a saúde*, Londrina, v.9, n.1, p.1-17, dez. 2008.
- Novi, J. C.; Oliveira, S. V. W. B.; Junior, A. P. S.; Bonacim, C. A. G; Oliveira, M. M. B. Avaliação legal, ambiental e econômica da implantação de sistema próprio de tratamento de Resíduos de Serviços de Saúde para geração de energia em hospital-escola do Estado de São Paulo. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 27, p. 193-209, jan./jun. 2013.
- Pereira, E. A.; Silva, K. A.; Souza, H. A. Tratamento dos resíduos sólidos de serviço de saúde através de micro-ondas. III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Goiânia-GO. 2012.
- Reichert, F. R. Relatório Tecnologias para Aproveitamento Energético dos Resíduos. INNOVA Energias Renováveis. Rio de Janeiro, RJ. 2012.
- Rezende, J. L. P; Oliveira, A. D. Análise econômica e social de projetos florestais. 2. ed. Viçosa: Editora UFV; p. 386, 2008.
- Rodrigues, V.; Cosenza, C. A. N.; Barros, C. F.; Krykhtine, F.; Fortes, L. E. S. Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos e Produção de Energia: Análise de Legislação para Viabilidade Econômica de Soluções Conjuntas. XI Simpósio de excelência em gestão e tecnologia. Resende-RJ. 2014.