

## TECNOLOGIAS PARA TRATAMENTO TÉRMICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS: UMA ABORDAGEM ENERGÉTICA

Ricardo Marino Kühl<sup>1</sup>, Rafael N. Muniz<sup>2</sup>, Bruna C. Brasileiro<sup>3</sup>, Noemy P. Souza<sup>4</sup>, Pedro C. R. Neto<sup>5</sup>, Mikelly Cruz<sup>6</sup>, José Alberto S. de Sá<sup>7</sup>, Brigida R. P. Rocha<sup>8</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica – PPGEE (ricardomarinokuhl@gmail.com), <sup>2</sup> Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica – PPGEE (rafael.muniz@itec.ufpa.br), <sup>3</sup> Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica – PPGEE (brubrasileiro@gmail.com), <sup>4</sup> Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica – PPGEE (noemypds@gmail.com), <sup>5</sup> Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica – PPGEE (pedrocrn@gmail.com), <sup>6</sup> Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica – PPGEE (mikellycruz@ufpa.br), <sup>7</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – PPGCA (josealbertosa@uepa.br), <sup>8</sup> Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia – CENSIPAM, PPGEE (brigida@ufpa.br)

<sup>1,2,3,4,5,6,8</sup> Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá, Belém, Pará. www.portal.ufpa.br.

<sup>7</sup> Universidade do Estado do Pará, Travessa Enéas Pinheiro 2626, Marco, Belém, Pará. www.uepa.br

### RESUMO

O aproveitamento energético de gases gerados por meio dos resíduos é uma das alternativas energéticas viável para a geração de energia elétrica. Dentre as tecnologias para tratamento térmico, cuja transformação de RSU em energia é possível, destaca-se a incineração, gaseificação e a pirólise. Este estudo buscou comparar as tecnologias supracitadas de acordo com a viabilidade energética e a sustentabilidade do sistema, visando apontar qual a melhor tecnologia para o tratamento térmico dos resíduos concomitantemente a geração de energia elétrica. A comparação se deu por meio da análise de estudos sobre as tecnologias. Os resultados apresentam a pirólise como a tecnologia mais viável energética, econômica, social e ambientalmente, sendo um sistema de alta sustentabilidade, devido energia gerada de 500 kWh/t de RSU, e baixos níveis de emissões atmosféricas, a gaseificação também foi considerada um sistema de alta sustentabilidade, não se equiparando a pirólise devida alimentação dos gaseificadores ser por resíduos orgânicos. Por fim, a incineração foi considerada um sistema de baixa sustentabilidade devido elevado custo, além de ser a tecnologia estudada que mais impacta o meio ambiente.

**Palavras Chave:** Gaseificação. Incineração. Pirólise.

### ABSTRACT

#### *THERMAL TREATMENT TECHNOLOGIES FOR SOLID WASTE: AN ENERGETIC APPROACH*

*The energy recovery from waste gases is one of the viable alternatives for electricity generation. Among the thermal treatment technologies with waste-to-energy uses, highlights incineration, gasification and pyrolysis. This study has compared the above technologies according to energetic feasibility and the systems sustainability, aiming to identify the best technology for the thermal treatment with electricity waste co-generation. The comparison occurred through technology studies analysis. The results reveals pyrolysis as the most viable waste-to-energy technology, economically, socially and environmentally, and was considered a highly sustainable system because energy generated 500 kWh per ton of MSW, and low air emissions levels, gasification was also considered a highly sustainable system, not equating pyrolysis because gasifiers are fed by organic waste. Finally, the incineration technology has considered a low sustainability system due to the high cost and high levels of environmental impacts.*

**Keywords:** Gasification. Incineration. Pyrolysis.

### INTRODUÇÃO

No que diz respeito ao novo modelo desenvolvimentista alicerçado pelo tripé proposto pelo conceito de sustentabilidade, é digno que se ressalte que novas perspectivas de produção e consumo serão instauradas. Nesta nova ordem mundial elenca-se como primordial adotar uma ótica diferente no tocante ao consumo e a geração de resíduos, fator este, debatido internacionalmente e que aufere importância dia após dia.

Não obstante, o Brasil busca incessantemente por alternativas energéticas advindas de fontes renováveis de energia, bem como destinos ambientalmente seguros para os resíduos. Vale enaltecer a Lei Federal nº 12.305 de 2010, que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, com diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, atribuindo responsabilidade aos geradores e ao poder público.

Alteia-se, também, dentre os instrumentos legais da PNRS o incentivo para aproveitamento energético de gases gerados e resíduos, desde que possuam viabilidade técnica e ambiental comprovada.

Dentre as alternativas energéticas disponíveis para a transformação de resíduos sólidos em energia, elevam-se a gaseificação e a pirólise, consideradas tecnologias para tratamento térmico. Tal tipologia de tratamento é fundamental, principalmente sobre a nova ótica adotada pelo desenvolvimento sustentável. Entretanto, a pirólise e a gaseificação, são constantemente classificadas, erroneamente, como processos de incineração não-convencionais. Assim sendo, este trabalho, vislumbra realizar uma comparação entre as tecnologias de incineração, gaseificação e pirólise, observando os pilares da sustentabilidade (economia, meio ambiente e a visão social), apontando vantagens e desvantagens dos tratamentos térmicos supracitados, de modo a definir qual das três tecnologias é mais interessante para realizar o tratamento térmico de resíduos.

## METODOLOGIA

No que diz respeito a este trabalho, a consulta bibliográfica foi utilizada com o intuito de alicerçar a comparação das tecnologias térmicas para tratamento de resíduos sólidos urbanos (RSU), sendo considerado um “procedimento metodológico importante na produção de conhecimento científico capaz de gerar, especialmente em temas pouco explorados, a postulação de hipóteses ou interpretações que servirão de ponto de partida para outras pesquisas” (LIMA; MIOTO, 2007, p. 43).

A análise comparativa realizada, entre as tecnologias de tratamento térmico concomitante à geração de energia elétrica, levou em consideração os seguintes parâmetros: custo de investimento, balanço energético, área necessária para a implantação, necessidade de pré-tratamento dos resíduos, flexibilidade quanto ao combustível, além dos aspectos ambientais (consumo de água, impactos ambientais no solo e ar, emissões atmosféricas) e a sustentabilidade do sistema. Os parâmetros supracitados foram retirados de Bridgwater (1991), Henriques (2004), Faaj et al. (2005), Gonçalves (2007), Cabral (2008), Cortez, Lora, Gómez (2008), Poletto (2008), FEAM (2012), Reichert (2012), Chamon, Cardoso, Barros (2013), Empresa de Pesquisa Energética (2014), Gonçalves (2014), Lopes (2014) e Muniz (2015), culminando na Tabela 2.

## RESULTADOS

### Incineração

A incineração é uma tipologia de tratamento térmico, baseada, basicamente, em um processo de oxidação por combustão controlada (RAMOS, 2004), a alta temperatura, normalmente variando de 800°C a 1.300°C, vale destacar que tal temperatura viabiliza a redução do volume dos resíduos em até 90%, e de peso em até 75% (HENRIQUES, 2004; TABASOVÁ et al., 2012; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2014). Vale destacar como Pacheco et al. (2003) e Oliveira (2006) que o processo supracitado, opera com excesso de oxigênio, em torno de 10% a 25% acima das necessidades de queima dos resíduos para garantir a combustão completa.

No que tange o desempenho de um incinerador, os fatores principais considerados são o tripé: temperatura (energia fornecida para que as moléculas haja a quebra das moléculas e sua recombinação), tempo de residência (tempo necessário para que ocorram as reações de oxidação, sob temperatura ideal) e turbulência/turbilhamento (indica o grau de mistura entre resíduo e oxigênio) (ROCCA, 1993; LOPES, 2014). Alteia-se também a relevância da composição dos resíduos que alimentaram o incinerador.

### Gaseificação

Lora et al. (2008, p. 241), informam que “a gaseificação é o processo termoquímico de converter um insumo sólido ou líquido num gás [...] com características basicamente combustíveis, através da oxidação parcial [...]”. O princípio deste processo de conversão energética alicerça-se na utilização de uma matéria prima (biomassa) pré-tratada, isto é, com um teor de umidade baixo, convertendo-a em gás, por meio das reações de gaseificação, de forma conseguinte este gás é resfriado e purificado (MORRIN et al., 2011; HERNÁNDEZ, BALLESTEROS, ARANDA, 2013; MUNIZ & ROCHA, 2013).

O produto da gaseificação, denominado gás síntese, também conhecido como *syngas*, possui uma composição típica dada em média por 48% Nitrogênio (N), 21% Monóxido de Carbono (CO), 09% Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), 14% Hidrogênio (H), 05% Vapor d'Água (H<sub>2</sub>O<sub>(v)</sub>) e 02% Metano (CH<sub>4</sub>) (KIRUBAKARAN, et al. 2009). Diversos fatores, de acordo com Muniz (2015), podem alterar a composição do *syngas*, dentre eles a temperatura, pressão, umidade do combustível, teor de oxigênio no agente gaseificador e o tipo de combustível, conseqüentemente o poder calorífico do gás produzido é influenciado, entretanto, considerando o nitrogênio presente no ar, o poder calorífico do *syngas* é da ordem de 5.500 kJ/Nm<sup>3</sup> (SRIDHAR, et al., 2006).

As aplicações práticas atribuídas ao gás síntese são diversas, a seguir elencam-se as principais, enaltecidas por Lora et al. (2008), Fundação Estadual do Meio Ambiente (2012), Muniz e Rocha (2013).

- O gás limpo pode ser utilizado em queimadores para produção de calor;
- Combustão de Motores Alternativos de Combustão Interna (MACI);
- Obtenção de energia elétrica, numa mistura de 80% gás + 20% diesel, ou 100% gás para motores ciclo Otto.

- Matéria prima na obtenção de combustíveis líquidos (diesel, gasolina, metanol, etanol amônia, hidrogênio);

### **Pirólise**

O processo de pirólise consiste na decomposição/degradação térmica das ligações químicas presentes nas cadeias orgânicas em ausência de oxigênio, diferentemente da gaseificação e incineração, a pirólise é um processo endotérmico, assim sendo requer uma fonte externa de calor (LOPES, 2014; MUNIZ, 2015). Este tipo de tecnologia opera em temperaturas de 300°C a 1600°C (LIMA, 1995; LOPES, 2014; MUNIZ, 2015). Muniz (2015, p. 44) discorre que “pela definição já se observa que qualquer processo térmico a temperaturas superiores a 300°C e na ausência de oxigênio são considerados métodos de pirólise”, desta forma a classificação dos tipos de pirólise relacionam-se com os parâmetros operacionais, como tempo de residência dos resíduos e a temperatura a qual ele é submetido (REICHERT, 2012), a classificação é evidenciada na Tabela 1.

**Tabela 1.** Classificação dos tipos de pirólise de acordo com a temperatura e tempo de residência dos resíduos.

**Table 1.** Classification of pyrolysis types according to the temperature and residence time of the waste.

TIPO	TEMPERATURA	PERÍODO DE RESIDÊNCIA
Pirólise Lenta	400°C	Longos períodos (40 minutos a 01 hora)
Pirólise Rápido	400°C - 600°C	Períodos curtos (tempo < 2 segundos)
Flash Pirólise	> 800°C	Períodos curtos (tempo ≈ 1 segundo)

**Fonte:** Adaptado de Muniz (2015).

Segundo Conti (2009) os processos de pirólise para tratamento de resíduos sólidos urbanos que obtiveram sucesso são de maioria do tipo lenta. Chamon, Cardoso, Barros, (2013) evidenciam que uma característica desta tecnologia é a modularidade, sendo possível atender desde pequenas quantidades de resíduos, para populações de 10.000 a 20.000 habitantes, a grandes quantidades de resíduos gerados (populações acima de 300.000 habitantes). Outra possibilidade de classificação para a tecnologia de pirólise ocorre de acordo com os tipos de reatores utilizados, considerando o modo de movimentação e aquecimento dos resíduos (REICHERT, 2012; MUNIZ, 2015). Os autores expõem a seguinte classificação:

- **Pirólise a Tambor Rotativo:** As temperaturas de operação nesses tipos de reatores variam entre 400°C e 850°C e a granulometria do material pode ser da ordem de 50mm. O reator é aquecido externamente e os resíduos são alimentados em uma das entradas do tambor, que roda lentamente e provoca uma movimentação deles em direção à outra extremidade do reator;
- **Pirólise a Tubo Aquecido:** Os tubos são aquecidos externamente a temperaturas da ordem de 800°C. O processo pode utilizar material com maiores dimensões (50mm). Os resíduos são conduzidos através do tubo a uma velocidade fixa que garante que o material seja completamente pirolizado;
- **Pirólise a Contato Superficial:** São exigidos materiais com pequenas dimensões, sendo necessário um pré-tratamento avançado. O objetivo maior desta tecnologia é garantir uma reação de pirólise otimizada.

O processo de pirólise sintetiza gases, líquidos e ceras, dependendo do material submetido a pirólise, bem como a temperatura que o mesmo é submetido (GONÇALVES, 2007). No que tange o gás síntese gerado, Muniz (2015) enaltece a necessidade da purificação deste, por meio de um processo de lavagem, assim a ausência de contaminantes possibilita a utilização, do gás síntese limpo, tanto para geração elétrica quanto para geração térmica, em grupos geradores a gás (cogeração), ou ainda o uso deste em processos térmicos para gerar calor (vapor, água quente, ar quente) ou frio (CHAMON; CARDOSO; BARROS, 2013).

A análise dos produtos obtidos pela pirólise, demonstram que alguns possuem valor agregado, como o óleo, gases e carvão utilizados como fonte de combustíveis ou em outros usos relacionados à indústria (MUNIZ, 2015). Dentre os processos de pirólise, é possível distinguir os produtos da pirólise lenta e da pirólise rápida, cuja produção é, respectivamente, de carvão e bioóleo (controlando-se os parâmetros de processo) (VIEIRA et al., 2011).

### **Análise Comparativa das Tecnologias**

A comparação entre as tecnologias foi baseada nos estudos de Bridgwater (1991), Henriques (2004), Faaj et al. (2005), Gonçalves (2007), Cabral (2008), Cortez, Lora, Gómez (2008), Poletto (2008), FEAM (2012), Reichert (2012), Chamon, Cardoso, Barros (2013), Empresa de Pesquisa Energética (2014), Gonçalves (2014), Lopes (2014) e Muniz (2015) e evidenciados na Tabela 2.

Inicialmente verificou-se que para um sistema de incineração o balanço energético gira em torno de 417 kWh gerado por tonelada de RSU, no que diz respeito a gaseificação, não foram encontrados valores referentes a gaseificação de RSU, e sim para resíduos orgânicos, que por tonelada, gera 1000 kWh, por sua vez o sistema de pirólise gera 500 kWh quando alimentado com uma tonelada de resíduos sólidos urbanos e 1MWh para cada tonelada de resíduos orgânicos (REICHERT, 2012).

De forma conseguinte, avaliou-se o custo do equipamento e de acordo com Faaj et al. (2005) a incineração detém os maiores custos avaliados, enquanto tanto a gaseificação, quanto a pirólise os custos são medianos. Associado ao custo do equipamento, a área requerida para a instalação do sistema é um fator de importância a ser

analisado, e de acordo com o exposto na Tabela 2, o alto custo da incineração relaciona-se com uma área necessária maior, quando comparada com a gaseificação e a pirólise, sistemas de custo medianos.

Outro ponto avaliado por Faaj et al. (2005) e corroborado por Chamon, Cardoso, Barros (2013) diz respeito a flexibilidade de combustível, ou seja, qual a diversidade de combustíveis cujos sistemas estão preparados para utilizar como combustível. Nesta análise a incineração e gaseificação foram considerados sistemas de média flexibilidade, ao passo que o sistema de pirólise se destacou pela alta flexibilidade de combustível.

Ao abordar sobre o resíduo que alimentará uma das tecnologias térmicas para tratamento de RSU, Faaj et al. (2005), Reichert (2012), Chamon, Cardoso, Barros (2013) discorrem sobre a necessidade de um pré-tratamento para o resíduo utilizado, dispendendo custos, bem como um tempo maior para que o sistema gere energia. Dentre as tecnologias analisadas, tanto a incineração quanto a pirólise, possuem baixas necessidades relacionadas ao pré-tratamento do resíduo, por sua vez a gaseificação requer, anteriormente a sua utilização, que a umidade seja controlada em valores inferiores a 15% (MONTEIRO, 2008; MUNIZ, ROCHA, 2013; KÜHL, 2014; KÜHL et al., 2015)

No que tange a avaliação das tecnologias acerca dos aspectos ambientais, primeiramente verificou-se o consumo de água, sendo que para a incineração evidencia-se um consumo alto, para pirólise um consumo médio e para gaseificação um baixo consumo de água (FAAJ et al., 2005, REICHERT, 2012, CHAMON, CARDOSO, BARROS, 2013). De forma conseguinte foi mensurado o grau dos impactos no solo, devido a necessidade de dispor, em alguma localidade, as cinzas dos resíduos, e o grau dos impactos no ar, devido emissões de gases, e segundo os dados evidenciados na Tabela 2, sobre todas as tecnologias recaem impactos, tanto no solo quanto no ar, entretanto os impactos derivados da incineração, para solo e ar, foram considerados altos, por sua vez, os impactos da gaseificação sobre o solo foram avaliados como medianos (solo) e baixos (ar), por fim a pirólise teve os impactos no solo e no ar ponderados como baixos (FAAJ et al., 2005, REICHERT, 2012, CHAMON, CARDOSO, BARROS, 2013). De modo análogo a análise sobre os impactos ambientais no ar, avaliou-se a quantidade de emissões atmosféricas, oriunda de cada tecnologia, obtendo-se os mesmos conceitos sobre o grau dos impactos no ar para as emissões atmosféricas, alto (incineração), baixo (gaseificação e pirólise).

O impacto ambiental não é determinado, apenas pela quantidade de gases emitidos, considera-se também a composição das emissões. Henriques (2004), Cabral (2008), Poletto (2008), Empresa de Pesquisa Energética (2014), Gonçalves (2014), Lopes (2014) e Muniz (2015) informam que uma série componentes, evidenciados na Tabela 2, são sintetizados e emitidos pela combustão de resíduos sólidos, dentre eles destacam os gases, além destes, a incineração, em virtude da composição dos resíduos, gera, por meio da combustão incompleta, material particulado, metais e substâncias orgânicas, como dioxinas e furanos, na forma gasosa ou aderidas também ao material particulado (FEAM, 2012). A gaseificação gera menos gases do que a incineração, dentre os quais destacam-se, segundo Bridgwater (1991), o gás hidrogênio (H<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), gás nitrogênio (N<sub>2</sub>), gás oxigênio (O<sub>2</sub>) e vapor de água (H<sub>2</sub>O<sub>(v)</sub>), por sua vez, a pirólise gera apenas CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O<sub>(v)</sub> (GONÇALVES, 2007; MUNIZ, 2015)

**Tabela 2 – Comparativo entre as tecnologias empregadas.**

*Table 2 – Comparative according to the employed technologies.*

TECNOLOGIAS	INCINERAÇÃO	GASEIFICAÇÃO***	PIRÓLISE
Balanco Energético (kWh/tRSU)	417	n.d.* - 1000**	500* - 1000**
Custo do Equipamento	Alto	Médio	Médio
Área Ocupada	Médio	Baixo	Baixo
Flexibilidade de Combustível	Médio	Médio	Alto
Necessidade de Pré-tratamento dos Resíduos	Baixo	Alto	Baixo
Consumo de Água	Alto	Baixo	Médio
Grau de Impactos no Solo	Alto	Médio	Baixo
Grau de Impactos no Ar	Alto	Baixo	Baixo
Emissões Atmosféricas	Alto	Baixo	Baixo
Gases Emitidos	CO <sub>2</sub> , SO <sub>x</sub> , HCl, HF, CO, NO <sub>x</sub> , MP, metais (Cd, Hg, As, V, Cr, Co, Cu, Pb, Mn, Ni, Tl) e substâncias orgânicas (dioxinas e furanos)	H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , CO, N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O <sub>(v)</sub>	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O <sub>(v)</sub>
Sustentabilidade do Sistema	Baixo	Alto	Alto

\* Conversão de energia para RSU.

\*\* Conversão de energia para resíduos orgânicos.

\*\*\* Dados referentes a utilização de resíduos orgânicos.

Fonte: Adaptado de Muniz (2015).

Por fim, considerando todos os fatores supracitados, avaliou-se a sustentabilidade dos sistemas de acordo com a tecnologia proposta. A incineração apresentou o menor balanço energético, o custo mais elevado de equipamento, é a tecnologia que requer a maior área para implantação, e a que mais impacta o meio ambiente, desta forma a sustentabilidade atribuída ao sistema foi baixa. A gaseificação, assim como a pirólise possuem custos medianos, e requerem pequenas áreas para instalação, no que tange os aspectos ambientais, ambas impactam em menor grau o ar, devido alcatrão e as cinzas geradas (LORA et al., 2008; LORA et al., 2012; KÜHL, 2014) a gaseificação impacta em grau mediano o solo, enquanto a pirólise possui baixo grau de impacto sobre o solo, devido a inertização das cinzas pelo processo, isto posto, considerou-se alta a sustentabilidade dos sistemas para ambas as tecnologias.

## CONCLUSÃO

Este estudo concluiu que a tecnologia de incineração apresenta um custo elevado de implantação, além de ser a tecnologia estudada que mais impacta o meio ambiente (solo e ar) emitindo gases e demais componentes perigosos para a saúde humana. A incineração, neste estudo, não apresentou vantagens econômicas, energéticas, sociais e ambientais, quando comparadas com a gaseificação e com a pirólise, assim sendo foi considerada uma tecnologia com baixa sustentabilidade.

A gaseificação, apesar de os valores a ela atribuídos serem para utilização de resíduos orgânicos, apresentou um balanço energético de 1000 kWh por tonelada de resíduo orgânico, um custo mediano acerca dos equipamentos (principalmente o gaseificador e o grupo gerador). No que diz respeito ao meio ambiente, a gaseificação foi considerada uma tecnologia que gera baixos níveis de impacto. A tecnologia de gaseificação apresentou vantagens econômicas, energéticas, sociais e ambientais sobre a incineração, mesmo não utilizando resíduos sólidos urbanos como combustível, assim sendo foi considerado um sistema de alta sustentabilidade.

Por fim, a pirólise detém um balanço energético de 500 kWh/t de RSU, e 1000 kWh/t de resíduo orgânico, foi considerada uma tecnologia com custo mediano, e apresentou baixos impactos ambientais relativos ao solo e ao ar. Comparativamente a pirólise demonstrou-se a melhor alternativa para utilização no tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos, concomitantemente a geração de energia elétrica, por este fator, acrescido dos benefícios socioambientais e econômicos, auferiu-se a pirólise um *status* de sistema de alta sustentabilidade.

Vale realizar uma ressalva sobre o sistema de gaseificação, este apresenta o mesmo balanço energético que a pirólise quando operados com resíduos orgânicos, no entanto a pirólise se destaca pelos produtos gerados, pois além do gás de síntese, é possível obter o *biochar* ou o bioóleo, dotando a pirólise de mais um produto com potencial econômico agregado.

Enaltece-se ainda a necessidade de desenvolver outros estudos na área, vislumbrando a quantificação dos gases gerados por cada tipo de tecnologia sob condições de operação similares, facilitando a comparação entre as mesmas. Outro ponto que merece destaque, tange o incipiente desenvolvimento da gaseificação e da pirólise no Brasil, a fomentação destas é imprescindível, tanto para o saneamento quanto para a geração de energia elétrica.

## REFERÊNCIAS

- BRASIL. **Lei Federal nº 12.305 de 02 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>. Acesso em: 25 de novembro de 2014.
- BRIDGWATER, A. V. Review of thermochemical biomass conversion. **ESTU B1202.** Crown. 1991.
- CABRAL, L. L. **Pirólise de resíduos plásticos da plataforma da Bacia de Campos.** Dissertação (Mestrado). Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: UERJ. 2008. 117 p.
- 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.** Congresso Fluminense de Engenharia, Tecnologia e Meio Ambiente. Niterói: UFF. 2013.
- CONTI, L. **La pirolisi: il processo, I punti di forza, le opportunità.** Università degli Studi di Sassari, Itália. 2009.
- CORTEZ, L. A. B.; SILVA LORA, E. E.; GÓMEZ, E. O. **Biomassa para energia.** Ed UNICAMP. Campinas – SP. 2008.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Nota Técnica DEA 18/14.** Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos. Série Recursos Energéticos. Rio de Janeiro. 2014. 50 p.
- FAAJ, A.; WALTER, A.; BAUEN, A.; BEZZON, G.; ROCHA, J. D.; MOREIRA, J. R.; CRAIG, K. R.; OVEREND, R. P.; BAIN, R. L. **Novas Tecnologias para os Vetores Modernos de Energia da Biomassa.** In: Uso da Biomassa para produção de Energia na Indústria Brasileira. Campinas: UNICAMP, 2005.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM. **Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos Urbanos: Guia de Orientações para Governos Municipais de Minas Gerais.** Belo Horizonte: FEAM, 2012. 163p.

- GONÇALVES, C. K. **Pirólise e combustão de resíduos plásticos**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo. São Paulo. 2007.
- HENRIQUES, R. M. **Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica**. Tese (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004. Rio de Janeiro: UFRJ, 2004. 204 p.
- HERNÁNDEZ, J. J.; BALLESTEROS, R.; ARANDA, G. Characterization of tars from biomass gasification: Effect of the operating conditions. *Energy*, v. 50. 2013. p. 333-342.
- KIRUBAKARANA, V.; SIVARAMAKRISHNANB, V.; NALINIC, R.; SEKARD, T.; PREMALATHAE, M.; SUBRAMANIANE, P. A review on gasification of biomass. *Renewable and Sustainable Energy reviews*, v. 13. 2009. p. 179-186.
- KÜHL, R. M. **Avaliação de sistemas alternativos para geração de energia elétrica e térmica: um estudo de caso no restaurante universitário da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) – PA**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis). Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém. 2014. 78p.
- KÜHL, R. M.; OLIVEIRA, G. M. T. S.; MUNIZ, R. N.; ROCHA, B. R. P.; SÁ, J. A. S. Avaliação de sistemas alternativos para geração de energia elétrica e térmica: um estudo de caso no restaurante universitário da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) – PA. *Anais do IV Congresso Interamericano de Resíduos Sólidos da Associação Interamericana de Engenharia Sanitária e Ambiental*. El Salvador. San Salvador. 06p.
- LIMA, L. M. Q. **Lixo: tratamento e biorremediação**. São Paulo: Hemus Editora Ltda., 1995. 265p.
- LIMA, T. C. S., MIOTO, R. C. T. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. *Revista Katálysis*. v. 10. Florianópolis. 2007. p. 37-45.
- LOPES, E. J. **Desenvolvimento de sistema de gaseificação via análise de emissões atmosféricas**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2014. 145 p.
- LORA, E. E. S.; ANDRADE, R. V.; ÁNGEL, M. A. H.; ROCHA, M. H.; SALES, C. A. V. B. MENDOZA, M. A. G.; CORAL, D. S. O. Capítulo 6: Gaseificação e pirólise para a conversão de biomassa em eletricidade e biocombustíveis. In: SILVA LORA, E. E.; VENTURINI, E. J. (Coord.). *Biocombustíveis*. V. 1. Ed. Interciência. 2012. 88 p.
- LORA, E. E. S.; ANDRADE, R. V.; SANCHEZ, C. G.; GÓMEZ, E. O.; SALES, C. A. V. B. Capítulo 9: Gaseificação. In: CORTEZ, L. A. B.; SILVA LORA, E. E.; GÓMEZ, E. O. *Biomassa para energia*. Ed UNICAMP. Campinas – SP. 2008.
- MONTEIRO, J. H. A.; **Planejamento Energético para Pequenas Comunidades da Amazônia: um estudo de caso da comunidade quilombola de Jenipaúba – Abaetetuba**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, 2008.
- MORRIN, S.; LETTIERI, P.; CHAPMAN, C.; MAZZEI, L. Two stage fluid bed-plasma gasification process for solid waste valorisation: Technical review and preliminary thermodynamic modelling of sulphur emissions. *Waste Management*, v. 32. 2012. p. 676-684.
- MUNIZ, R. N. **Desafios e oportunidades para o acesso universal à energia elétrica na Amazônia**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Pará. Pará: UFPA, 2015. 170 p.
- MUNIZ, R. N.; ROCHA, B. R. P. Gaseificação de biomassa residuária na Amazônia: estudo de caso em comunidade quilombola no Pará. *Anais do 8º Congresso Internacional de Bioenergia*. São Paulo – SP. 05 A 07 de novembro de 2013. 06 p.
- OLIVEIRA, M. L. **Caracterização e pirólise dos resíduos da Bacia de Campos: análise dos resíduos da P-40**. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: 2006. 192 p.
- PACHECO, E. V.; HEMAIS, C. A.; FONTOURA, G. A. T.; RODRIGUES, F. A. Tratamentos de resíduos gerados em laboratórios de polímeros: um caso bem sucedido de parceria universidade-empresa. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 13, n.1, p.14-21, 2003.
- POLETTI, J. A. **Viabilidade energética e econômica da incineração de resíduo sólido urbano considerando a segregação para reciclagem**. Dissertação (Mestrado). Bauru: UNESP. 2008. 119 p.
- RAMOS, S. I. P. **Sistematização técnico-organizacional de programas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos em municípios do Estado do Paraná**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2004. 211 p.
- REICHERT, F. R. **Relatório Tecnologias para Aproveitamento Energético dos Resíduos**. INNOVA Energias Renováveis. Rio de Janeiro, RJ. 2012.
- ROCCA, A. C. C. **Resíduos sólidos industriais**. 2. ed. São Paulo: Cetesb, 1993
- SRIDHAR, G., SRIDHAR, H. V., BASAWARAJ, M. S., SUDARSHAN, H. I., SOMSEKHAR, S., DASAPPA, P. J. **Case Studies on Small Scale Biomass Gasifier Based Decentralized Energy Generation Systems**. Centre for Sustainable Technologies, Indian Institute of Science, Bangalore. 2006.
- TABASOVÁ, A.; KROPÁČ, J.; KERMES, V.; STEHLÍK, P.; NEMET, A. Waste-to-energy technologies: Impact on environment. *Energy*, v. 44, n. 1. ISSN 0360-5442. 2012. p. 146-155.
- VIEIRA, G. E. G.; PEDROZA, M. M.; SOUSA, J. F. PEDROZA, C. M. O processo de pirólise como alternativa para aproveitamento do potencial energético do lodo de esgoto - uma revisão. *Revista Liberato*. Novo Hamburgo, v. 12, n. 17, p. 01-106, 2011.