



II CONGRESSO AMAZÔNICO DE MEIO AMBIENTE & ENERGIAS RENOVÁVEIS

Engenharia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Energético

12 A 16 DE SETEMBRO DE 2016

LOCAL: UFRA CAMPUS BELÉM

ISBN: 978-85-5722-005-8

www.camaer.com.br



ARTIGO COM APRESENTAÇÃO ORAL - PIRÓLISE, GASEIFICAÇÃO E COMBUSTÃO

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE COMO FONTE ENERGÉTICA

ARTHUR JULIO ARRAIS BARROS, ANA CAROLINE DAVID RAMOS, PAULA DANIELLY BELMONT COELHO, LINDEMBERG LIMA FERNANDES

Avaliar o potencial de aproveitamento dos resíduos de serviços de saúde como fonte de energia térmica, a partir da Tecnologia de Gaseificação e Combustão Combinadas (GCC), além da avaliação de alguns aspectos econômicos e ambientais. Foi verificada a geração de resíduos dos serviços de saúde em Belém de 2010 a 2014, segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). O potencial de aproveitamento dos resíduos sólidos gerados no município para geração de energia térmica e a questão ambiental baseou-se nos estudos de Moura, D'Ávila e Rocha Neto (1998), Bujak (2009) e de Novi (2013). A tecnologia envolve um processo térmico, sendo não poluente e adequada como forma de tratamento de vários tipos de resíduos perigosos. Esse vapor térmico gerado por meio do sistema GCC pode ser utilizado, por exemplo, em caldeiras, que, no contexto hospitalar, podem ser utilizadas para alimentar autoclaves de esterilização de diversos materiais.

Palavras-chave: resíduos dos serviços de saúde, tecnologia de gaseificação e combustão combinadas, aproveitamento energético.

1. INTRODUÇÃO

A Organização Mundial de Saúde (2002, apud NORAT, 2006, p. 24) conceitua os resíduos sólidos como “qualquer coisa que o proprietário não quer mais, em certo local e em um certo momento, e que não apresenta valor comercial, corrente ou percebido”. Assim, tradicionalmente, os resíduos sólidos são vistos somente como algo a ser descartado, não passíveis de qualquer tipo de aproveitamento.



II CONGRESSO AMAZÔNICO DE MEIO AMBIENTE & ENERGIAS RENOVÁVEIS

Engenharia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Energético

12 A 16 DE SETEMBRO DE 2016

LOCAL: UFRA CAMPUS BELÉM

ISBN: 978-85-5722-005-8

www.camaer.com.br



Nas últimas décadas, os resíduos deixaram de ser vistos como rejeitos – que, segundo BRASIL (2010), são resíduos sólidos que não apresentam quaisquer possibilidades de tratamento e/ou recuperação por processos tecnológicos e economicamente viáveis; restando a disposição final ambientalmente adequada. Um exemplo é o alumínio, que é amplamente coletado no Brasil por sucateiros e cooperativas de reciclagem, vendido para indústrias que o utiliza como matéria-prima (RODRIGUES, 2008), gerando renda para quem vende e diminuindo os custos de aquisição de matéria-prima dos empresários.

Todavia, alguns resíduos dotados de certo teor de periculosidade, como os oriundos de indústrias, hospitais e da agricultura, ainda não apresentam quantidade satisfatória de tecnologias capazes de reaproveitá-los de alguma forma e reinseri-los no processo produtivo.

Uma tecnologia que tem despontado é a de Gaseificação e Combustão Combinadas (GCC), que transforma a matéria orgânica de resíduos perigosos em gás combustível por meio de reações de pirólise, de oxidação e de redução. Essa tecnologia pode ser implementada, dentre outros locais, em hospitais, que são geradores de resíduos de serviços de saúde que, em suma, são resíduos potencialmente contaminantes.

A Tecnologia da Gaseificação e Combustão Combinadas (GCC), segundo Moura, D'Ávila e Rocha Neto (1998, p. 2), é uma tecnologia “baseada na gaseificação termoquímica, que é a transformação de resíduos orgânicos, sólidos e/ou líquidos, em gás combustível”. Essa tecnologia utiliza resíduos geralmente não passíveis de aproveitamento, como os oriundos de atividades industriais, agropecuárias e de serviços de saúde. Um exemplo desse sistema está representado a seguir, na Figura 1:

Figura 1 - Sistema GCC instalado na indústria de tintas WEG Química Ltda.





II CONGRESSO AMAZÔNICO DE MEIO AMBIENTE & ENERGIAS RENOVÁVEIS

Engenharia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Energético

12 A 16 DE SETEMBRO DE 2016

LOCAL: UFRA CAMPUS BELÉM

ISBN: 978-85-5722-005-8

www.camaer.com.br



Fonte: Moura, D'Ávila e Rocha Neto (1998, p. 3).

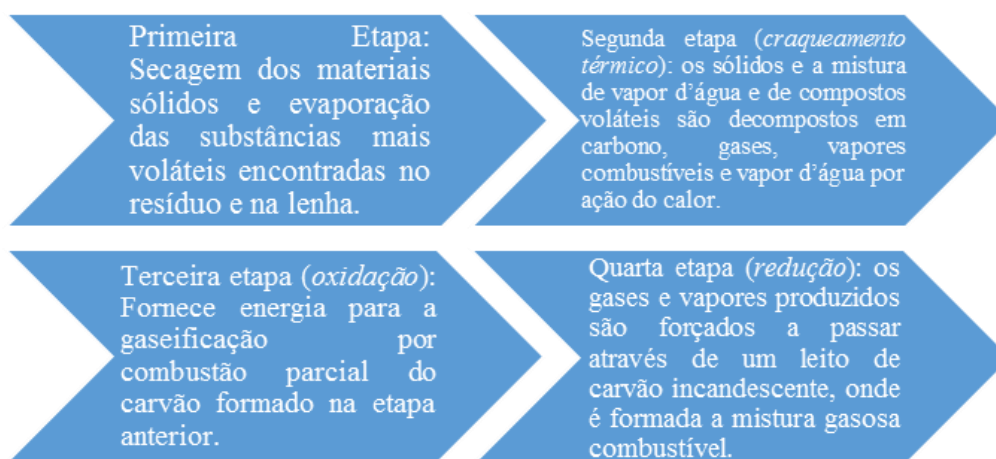
Os materiais geralmente utilizados como combustíveis são a lenha ou outro material carbonáceo (caixas, caixotes, restos de madeira etc.).

No interior do reator, após o processo de decomposição termoquímica, os resíduos são transformados em uma mistura gasosa combustível constituída, basicamente, de gases leves como CO, H₂, CXHY, vapor d'água, O₂ e N₂. Segundo Moura, D'Ávila e Rocha Neto (1998, p.

1) "a composição da mistura e, conseqüentemente seu poder calorífico dependem do tipo de resíduo processado e da relação combustível/resíduo".

A decomposição termoquímica que se processa dentro do sistema GCC está apresentada na Figura 2:

Figura 2 - Esquema sequencial das etapas processadas no sistema GCC.



Fonte: Adaptado de Moura, D'Ávila e Rocha Neto (1998).

As vantagens na utilização dessa tecnologia são a possibilidade de aproveitamento dos resíduos dos serviços de saúde – que outrora eram somente rejeitos – e a diminuição dos gastos dos hospitais com coleta e destinação final dos resíduos, já que os resíduos produzidos pelo sistema GCC são inertes, o que dispensa os cuidados inerentes aos resíduos infectantes. Nesse contexto, Carneiro (2009 apud NOVI, 2013, p. 12) afirma que os processos de gaseificação e incineração demonstram ser eficientes ambientalmente como forma de tratar e buscar soluções para os resíduos sólidos.



II CONGRESSO AMAZÔNICO DE MEIO AMBIENTE & ENERGIAS RENOVÁVEIS

Engenharia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Energético

12 A 16 DE SETEMBRO DE 2016

LOCAL: UFRA CAMPUS BELÉM

ISBN: 978-85-5722-005-8

www.camaer.com.br



2. OBJETIVOS

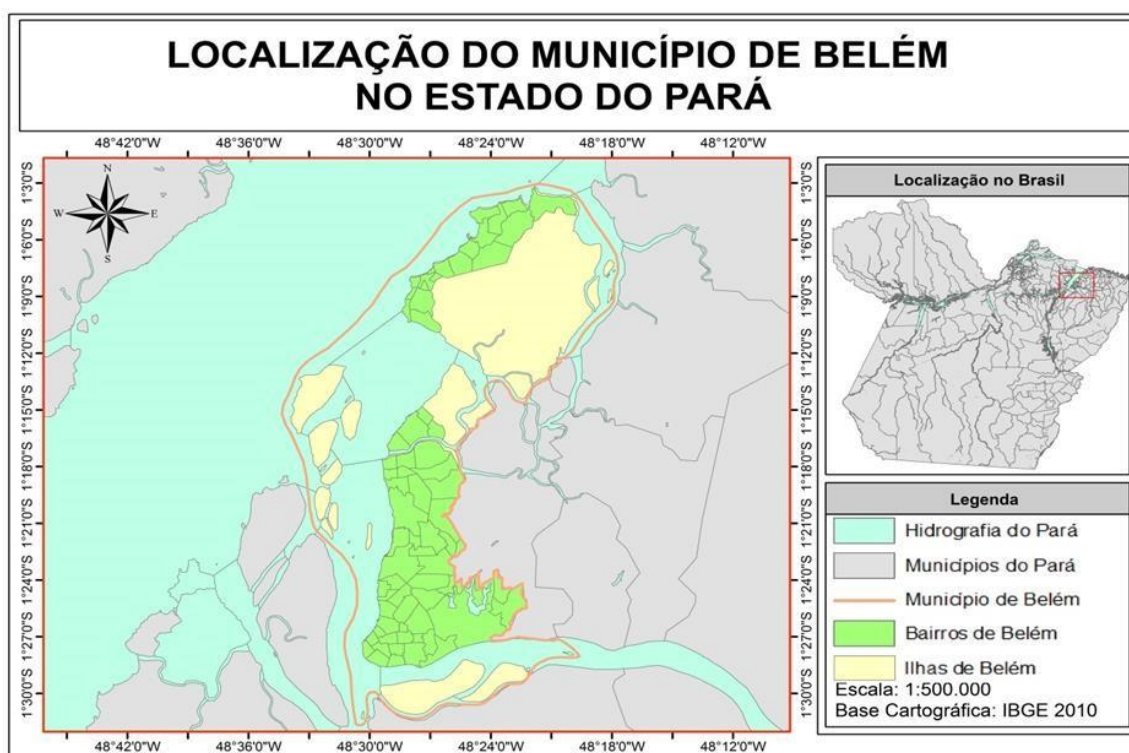
Avaliar o potencial de utilização dos resíduos de serviços de saúde como fonte de energia térmica, simulando o aproveitamento dos resíduos gerados no município de Belém por meio da tecnologia GCC e avaliando alguns aspectos ambientais e econômicos da mesma.

3. METODOLOGIA

A pesquisa tem como área de estudo o município de Belém, capital do estado do Pará.

A localização geográfica do município está ilustrada a seguir, na Figura 3:

Figura 3 – Área de estudo adotada na pesquisa



A pesquisa foi realizada em três etapas, conforme o fluxograma a seguir:

Fluxograma 1 - Sequência metodológica adotada na pesquisa.



II CONGRESSO AMAZÔNICO DE MEIO AMBIENTE & ENERGIAS RENOVÁVEIS

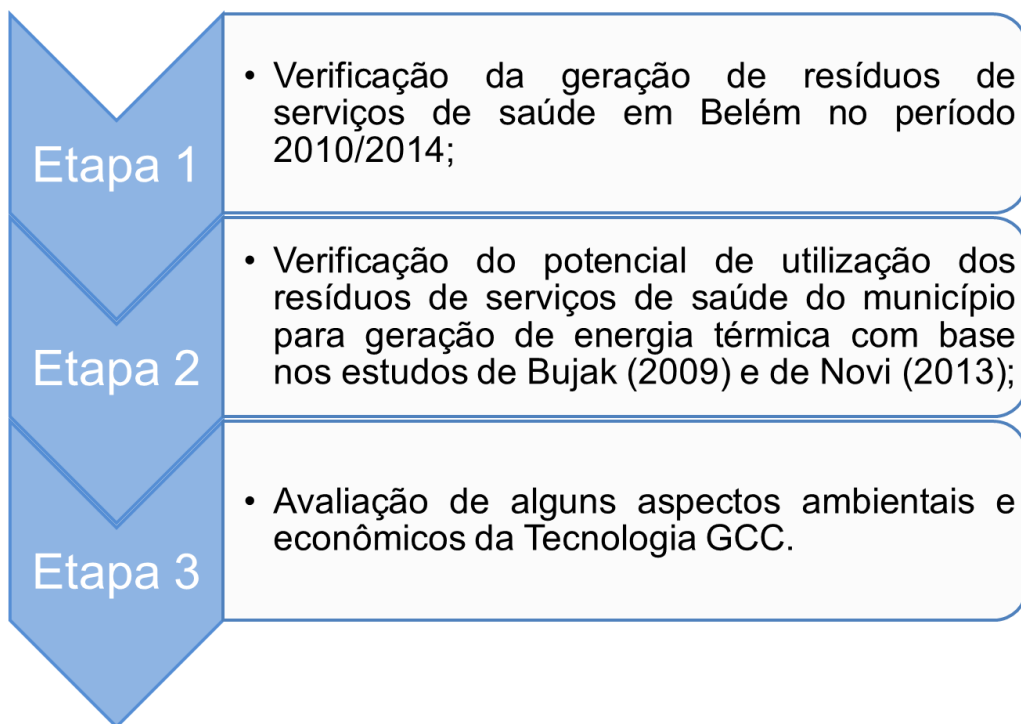
Engenharia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Energético

12 A 16 DE SETEMBRO DE 2016

LOCAL: UFRA CAMPUS BELÉM

ISBN: 978-85-5722-005-8

www.camaer.com.br



Na primeira etapa, foi verificada a geração de resíduos dos serviços de saúde em Belém durante os anos de 2010 a 2014 por meio das informações enviadas pela Secretaria Municipal de Saneamento (SESAN) do município ao Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Na segunda etapa foi verificado o potencial de aproveitamento dos resíduos sólidos gerados no município de Belém para geração de energia térmica, utilizando a referida tecnologia e com base nos estudos de Bujak (2009) e de Novi (2013). Por fim, na etapa 3 foram ponderados alguns aspectos ambientais e econômicos da mesma.

4. RESULTADOS

4.1. QUANTITATIVO DE RESÍDUOS DOS SERVIÇOS DE SAÚDE GERADOS

O quantitativo da massa anual (kg/ano) de resíduos dos serviços de saúde gerados no município de Belém, de 2010 a 2014, está apresentado no Gráfico 1:

Gráfico 1 - Quantitativo da massa de resíduos dos serviços de saúde (RSS) gerados em Belém de 2010 a 2014.



II CONGRESSO AMAZÔNICO DE MEIO AMBIENTE & ENERGIAS RENOVÁVEIS

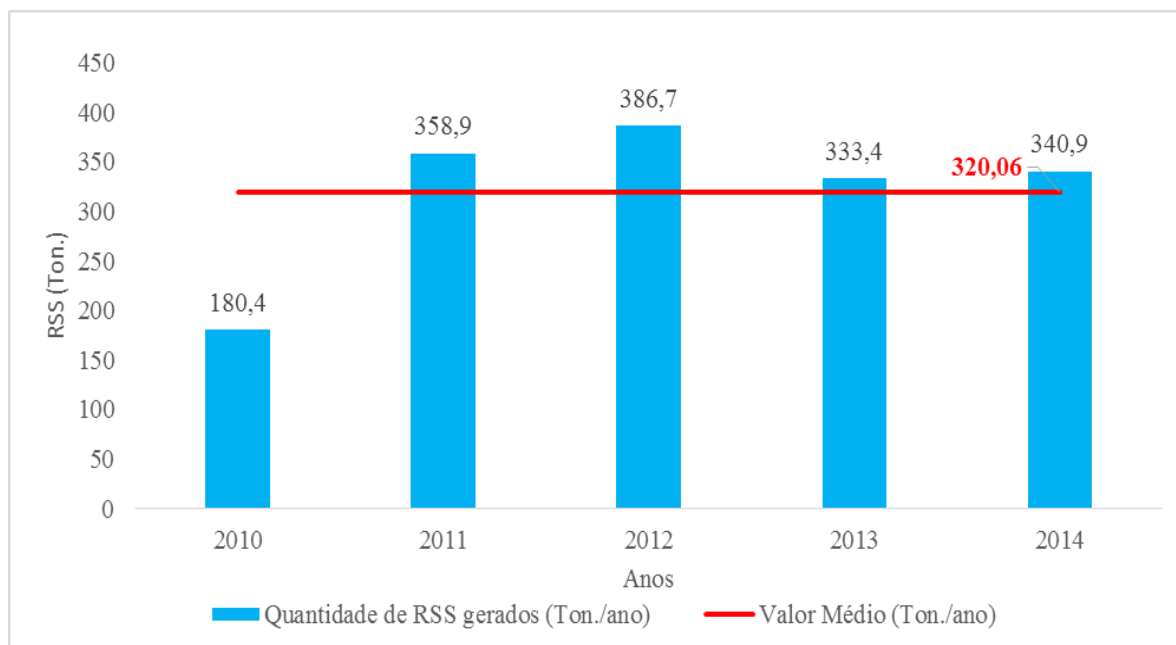
Engenharia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Energético

12 A 16 DE SETEMBRO DE 2016

LOCAL: UFRA CAMPUS BELÉM

ISBN: 978-85-5722-005-8

www.camaer.com.br



Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2014).

O valor médio da geração anual de resíduos dos serviços de saúde foi de 320,06 Ton./ano.

4.2. SIMULAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA GCC PELOS ESTABELECIMENTOS DE SAÚDE DO MUNICÍPIO DE BELÉM

Bujak (2009) realizou uma pesquisa no Hospital Oncológico de Bydgoszcz na Polônia, utilizando um equipamento que incorporava uma caldeira de recuperação de calor. O estudo demonstrou a obtenção estimada de 660-800 kW de energia, obtidos a partir da utilização de 100 kg de resíduos dos serviços de saúde. Este valor corresponde a cerca de 1.000-1.200 kg de vapor saturado. O fluxo de calor médio no adicional de combustível utilizado para incineração de 100 kg de resíduos foi de 415 kW. Assim, o coeficiente de eficiência energética ficou na faixa de 47% a 62%, dependendo da carga do incinerador.

Com base nesses valores foi possível estimar a geração de energia térmica em Belém se fossem implementadas unidades do sistema GCC nos estabelecimentos de saúde do município, considerando a produção de resíduos informada ao SNIS. Os resultados dessa estimativa estão na Tabela 2:

Tabela 2 - Potencial de utilização de energia térmica nas unidades de saúde do município de Belém.



II CONGRESSO AMAZÔNICO DE MEIO AMBIENTE & ENERGIAS RENOVÁVEIS

Engenharia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Energético

12 A 16 DE SETEMBRO DE 2016

LOCAL: UFRA CAMPUS BELÉM

ISBN: 978-85-5722-005-8

www.camaer.com.br



Geração anual média de RSS no município (Ton./ano)	320,06	Geração média de energia térmica por meio da tecnologia GCC (kW.100kg)	730,00
Geração mensal média de RSS no município (Ton./mês)	26,67		
Potencial de geração de energia térmica no município utilizando o sistema GCC (kW/mês) $\left[(26,67 \frac{\text{Ton.}}{\text{mês}} \times 1.000) \frac{\text{kg}}{\text{mês}} \right] \times 730 \frac{\text{kW}}{100\text{kg}}$		194.703,	17

Essa energia térmica gerada poderia ser utilizada, por exemplo, no aquecimento de caldeiras que, por sua vez, gerariam vapor passível de utilização no cozimento de alimentos.

Outra possibilidade de utilização dessa energia térmica gerada por meio do sistema GCC, no contexto hospitalar, seria em autoclaves de esterilização. Autoclaves são aparelhos utilizados na esterilização de materiais, sendo geralmente encontrados em laboratórios de pesquisa e em hospitais. Segundo SILVA (s.d.), “o processo de autoclavagem consiste em manter o material contaminado em contato com um vapor de água em temperatura elevada, por um período de tempo suficiente para matar todos os micro-organismos”.

Foi realizada pesquisa acerca do consumo de vapor térmico em autoclaves utilizados em hospitais e foram encontradas as especificações técnicas dos autoclaves da empresa CisaBrasile, Série 640. Assim, foi possível estimar a amortização da quantidade de vapor consumida nas autoclaves se fosse utilizado o vapor térmico produzido pela tecnologia GCC como fonte secundária. Essa estimativa está ilustrada a seguir, na Tabela 3:

Tabela 3 – Amortização na quantidade de vapor consumida em autoclaves por meio da geração da tecnologia GCC.



II CONGRESSO AMAZÔNICO DE MEIO AMBIENTE & ENERGIAS RENOVÁVEIS

Engenharia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Energético

12 A 16 DE SETEMBRO DE 2016

LOCAL: UFRA CAMPUS BELÉM

ISBN: 978-85-5722-005-8

www.camaer.com.br



Quantidade de vapor necessária para operação de uma autoclave $(\frac{kg}{h})^5$	60-80 (Valor Médio: 70)
Quantidade de vapor liberada por um equipamento GCC $(\frac{kg}{h} \times 100 \text{ kg de RSS})^6$	24,6
Amortização na quantidade de vapor utilizada $[(\frac{24,6}{70}) \frac{kg}{h}] \times 100\%$	35,14

4.3. ASPECTOS AMBIENTAIS E ECONÔMICOS DA TECNOLOGIA

Segundo Novi (2013), a tecnologia é avançada do ponto de vista ambiental com relação ao controle de emissão de gases, observando manutenção adequada do equipamento e treinamento adequado dos operadores. Além disso, há a redução da vulnerabilidade do sistema de manejo de resíduos dos serviços de saúde ao eliminar o trajeto dos mesmos até o local inicial de tratamento – geralmente longínquo das unidades geradoras –, visto que os mesmos seriam tratados dentro do próprio estabelecimento de saúde por meio da tecnologia GCC; ademais, outras opções de tratamento, como o tratamento por micro-ondas, não reduzem o volume dos resíduos e podem não inutilizar todos os patógenos presentes nos mesmos.

Além disso, a incineração e a gaseificação combinadas são mais eficientes do que somente a tradicional incineração, que apresenta potencial de geração de gases poluentes caso não controlada adequadamente; além de os resíduos gerados pela tecnologia serem inertes, o que permite destiná-los como resíduos comuns.

Adicionalmente, há a possibilidade de recuperação energética e da utilização dessa energia em processos internos do hospital, atribuindo uma conotação econômica aos resíduos de serviços de saúde e diminuindo a quantidade destinada às unidades de destinação final, aumentando, assim, a vida útil desses empreendimentos.

Quanto aos aspectos econômicos, os estudos de Novi (2013) concluíram que os custos de implantação da tecnologia GCC no hospital-escola em que a pesquisa foi realizada não

⁵ Manual Autoclave CISA Série 640, modelos 6464, 6410, 6412, 6415 e 6420.



II CONGRESSO AMAZÔNICO DE MEIO AMBIENTE & ENERGIAS RENOVÁVEIS

Engenharia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Energético

12 A 16 DE SETEMBRO DE 2016

LOCAL: UFRA CAMPUS BELÉM

ISBN: 978-85-5722-005-8

www.camaer.com.br



⁶ NOVI, Juliana Chiaretti et al. *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.*

seriam demasiadamente maiores do que os custos destinados às empresas responsáveis pelo tratamento externo e disposição final dos resíduos gerados no hospital, mostrando que a tecnologia é viável economicamente.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A gaseificação e a combustão combinadas (GCC) é um processo térmico, não poluente e adequado como forma de utilização e de tratamento de vários tipos de resíduos perigosos. O calor despreendido no processo pode ser recuperado e aproveitado na produção de vapor, diminuindo, assim, os gastos do gerador de resíduos com o gerenciamento de resíduos perigosos que, em função da sua periculosidade, exigem uma logística diferenciada; sendo, assim, mais onerosos do que os resíduos comuns.

Esse vapor térmico pode ser utilizado, por exemplo, em caldeiras, que são recipientes metálicos cuja função principal é a produção de vapor através do aquecimento da água. No contexto hospitalar, essas caldeiras podem ser utilizadas para alimentar autoclaves de esterilização de materiais, amortizando a quantidade de vapor consumida nesses equipamentos, além de poderem ser utilizadas, por exemplo, no cozimento de alimentos.

Do ponto de vista ambiental, a tecnologia apresenta como vantagem a redução da vulnerabilidade do sistema de manejo de resíduos dos serviços de saúde ao eliminar o trajeto dos mesmos até o local inicial de tratamento, além de diminuir a quantidade de resíduos destinada às unidades de destinação final e possibilitando a recuperação energética e a utilização dessa energia gerada em processos internos do hospital.

Quanto aos aspectos econômicos da instalação de exemplar da tecnologia GCC, destaca-se que a mesma é uma tecnologia promissora no contexto do tratamento de resíduos perigosos e no de geração de energia por meio de fontes alternativas; já que atribui uma conotação econômica a esses resíduos ao permitir o aproveitamento energético dos mesmos.

Assim, recomenda-se a realização de outros estudos abordando a tecnologia, visando a uma maior disponibilidade de informações acerca da mesma e auxiliando a tomada de decisão dos



II CONGRESSO AMAZÔNICO DE MEIO AMBIENTE & ENERGIAS RENOVÁVEIS

Engenharia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Energético

12 A 16 DE SETEMBRO DE 2016

LOCAL: UFRA CAMPUS BELÉM

ISBN: 978-85-5722-005-8

www.camaer.com.br



gestores hospitalares acerca do tratamento e destinação final dos resíduos gerados nos seus estabelecimentos de saúde.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 10 abr. 2016.

BUJAK, Janusz. Experimental study of the energy efficiency of an incinerator for medical waste. *Applied Energy*, v. 86, n. 11, p. 2.386-2.393, 2009.

CARNEIRO, Paulo Fernando Norat. *Caracterização e avaliação da potencialidade econômica da coleta seletiva e reciclagem dos resíduos sólidos domiciliares gerados nos municípios de Belém e Ananindeua - PA*. Belém, 2006. 155f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.

HOSPITAL Barros Barreto realiza inscrições para cursos. Disponível em: <<http://www.portal.ufpa.br/imprensa/noticia.php?cod=9566>>. Acesso em: 09 nov 2015.

MOURA, José Cláudio; D'Ávila, Saul Gonçalves; ROCHA NETO, T. *Processo de gaseificação e combustão combinadas (GCC) para disposição final de resíduos industriais*. Porto Alegre: COBEQ, 1998. Disponível em: <<http://www.termoquip.com.br/br/art-01.html>>. Acesso em: 04 mai 2016.

NOVI, Juliana Chiaretti et al. 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.



II CONGRESSO AMAZÔNICO DE MEIO AMBIENTE & ENERGIAS RENOVÁVEIS

Engenharia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Energético

12 A 16 DE SETEMBRO DE 2016

LOCAL: UFRA CAMPUS BELÉM

ISBN: 978-85-5722-005-8

www.camaer.com.br



NOVI, Juliana Chiaretti; OLIVEIRA, Sonia Valle Walter Borges de; JÚNIOR, Alexandre Pereira Salgado. Sustentabilidade na gestão dos resíduos de serviços de saúde (RSS): abordagem normativa e a Política Nacional de Resíduos Sólidos. *DELOS Revista Desarrollo Local Sostenible*, Málaga (Espanha), v. 6, n. 18, p. 1-18, 2013.

RODRIGUES, Elisabeth Toledo. *Proposta de implementação da coleta seletiva de lixo no condomínio residencial Privê das Laranjeiras, Goiânia - GO*. 2008. 30f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2008. Orientação de Juliana Ferreira Leite.

SILVA, Raquel. *Como funciona uma autoclave? (Pontociência)*. Disponível em: <<http://www.pontociencia.org.br/experimentos/visualizar/como-funciona-uma-autoclave/343>>. Acesso em: 05 mai 2016.