



AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO NA PRODUÇÃO DE GASES NO ATERRO SANITÁRIO MUNICIPAL DE ITAJUBÁ-MG, EM DECORRÊNCIA DO TRATAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS RETIDOS NAS GRADES DA TOMADA D'ÁGUA DA PCH LUIZ DIAS

Regina Mambeli Barros¹
Mirian Ribeiro Oliveira²
Geraldo Lúcio Tiago Filho³

RESUMO

A estimativa de produção de gases no aterro sanitário municipal de Itajubá-MG foi efetuada para dois cenários, no presente estudo. O cenário 1 consistiu no encaminhamento dos RS retidos nas grades da tomada d'água ao aterro e o cenário 2, com tratamento dos RS e consequente desvio de material orgânico do aterro. Para tal, foi calculada a área total requerida para o aterro, com vida útil de 20 anos, início de operação em 2007, com e sem a contribuição da projeção da produção anual de RS estimada por Barros et al. (2008b). Por intermédio do uso do software LandGEM v. 3.02 (USEPA, 2005), foram calculadas e comparadas para ambos os cenários e para um período de 80 anos, as emissões dos gases total do aterro, do metano (50%), do dióxido de carbono (50%) e NMOC (compostos orgânicos não-metano). Os resultados indicaram benefícios ambientais, com redução da ordem de 1,44.102 ton para o metano e 3,97.102 ton para o dióxido de carbono, equivalente, por exemplo ao carbono seqüestrado por 79.576 árvores plantadas e em crescimento por 10 anos.

Palavras chave: resíduos sólidos, metano, aterro sanitário.

ABSTRACT

The estimated production of gas in the municipal sanitary landfill of Itajubá-MG was done for two scenarios, in this study. Scenario 1 was the routing of SW kept in the grating of water intake to the landfill and the scenario 2, with treatment of SW and consequent deviation of organic material from the landfill. To this end, it was estimated the total area required for the site, with useful life of 20 years and start operating in 2007, with and without the contribution of projection of SW annual production, estimated by Barros et al. (2008b). Through the use of software LandGEM v. 3.02 (USEPA, 2005), it was calculated and compared to both scenarios and for a period of 80 years, total emissions of gases from the landfill, of the methane (50%) of the carbon dioxide (50%) and of NMOC (composed organic no-methane). The results indicated environmental benefits by reducing the order of 1,44.102 ton for the methane ton and 3,97.102 for the carbon dioxide, equivalent, for example to the carbon sequestered by 79.576 tree seedlings grown for 10 years.

Key words: solid wastes, methane, landfill.

1. OBJETIVO

O presente estudo possui o objetivo de estudar cenários de quantificação da redução de gases de efeito estufa emitidos do aterro sanitário municipal de Itajubá-MG, em razão do tratamento dos RS retidos em grades de tomadas d'água da PCH Luiz Dias, área rural de Itajubá-MG. A referida PCH, de propriedade da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), é operada pelo Centro Nacional de Referências em Pequenas Centrais Hidrelétricas (CERPCH), Instituto de Recursos Naturais da Universidade Federal de Itajubá (IRN/UNIFEI), e possui a capacidade instalada de 2,4 MW.

2. INTRODUÇÃO

2.1 PCHS no contexto mundial e brasileiro

Atualmente, os recursos de energias renováveis aprovacionam uma grande parte do consumo de energia total de muitos países em desenvolvimento. De acordo com Hicks (2004), a China possui recursos abundantes de pequenas centrais hidroelétricas (PCHs), que são economicamente viáveis para o desenvolvimento. O número de PCHs que operam no país é o 42.221 com uma capacidade total instalada de 28.489 MW, correspondendo por mais de um quarto do total do potencial do país.

Aslana et al. (2008) abordaram as PCHs com capacidade instalada inferior a 10 MW em países europeus - no contexto dos novos

membros da União Européia (UE) e dos candidatos a mesma. A maioria das PCHs dos países investigados possui capacidade limite com aprovação oficial, a exemplo da capacidade na Hungria e Polónia (de 5 MW), e na Letônia e Estônia (de 1 MW a 2 MW). Existem aproximadamente 3200 plantas instaladas nos países pesquisados por Aslana et al. (2008), correspondendo a uma capacidade de cerca de 1.430 MW de PCHs. Ao contrário, um número muito maior de PCHs está instalado em países candidatos à UE (cerca de 14.000 com a capacidade total de 10.000 MW). Os autores (op. cit.) revelaram que a maioria das PCHs com potencial energético economicamente viável tem sido exploradas na República Checa, Romênia, Eslovênia e Bulgária (entre 40% e 60%); uma pequena parcela desse potencial tem sido aproveitada na Turquia (apenas 3%); e o restante do potencial economicamente viável aumenta em cerca de 26 TWh/ano nos países pesquisados.

De acordo com Balat (2006), as fontes renováveis na Turquia constituem-se na segunda maior fonte para produção de energia, após o carvão. Desta parcela de energia renovável, dois terços produzidos são obtidos de biomassa, enquanto o restante é principalmente de energia hidroelétrica, o tipo mais importante de energia renovável e sustentável. Conforme o autor (op. cit.) o valor bruto da potencial energético teórico para PCHs da Turquia é 50.000 GWh/ano. A despeito de existir um enorme potencial inexplorado para PCHs na Turquia - uma vez que apenas 3,3% do potencial

energético técnico e economicamente viável ter sido desenvolvido -, Balat (2006) referiu-se à existência de potenciais técnico e economicamente viável de respectivamente, 30.000 e de 20.000 GWh/ano.

Dutra & Szkloa (2008) e Costa et al. (2008) contextualizaram a produção de energia elétrica no Brasil, a partir das fontes eólica, de biomassa e de hidrelétricas em pequenas escala, com base em preceitos do Programa de Incentivo a Fonte Alternativas de Energias (PROINFA), e recomendaram o fomento da diversificação da matriz energética. O PROINFA foi promulgado por intermédio da Lei 10.438/02 (BRASIL, 2002), sendo posteriormente revisto e corrigido pela Lei 10.762/03 (BRASIL, 2003), Lei 10.848/04 (BRASIL, 2004a), e Decreto 5.025/04 (BRASIL, 2004b). De acordo com Vianna (2007), o Projeto de Lei que institui a Política Nacional de Energias Alternativas PL no. 523/2007, reconhece o princípio das responsabilidades compartilhadas, no que tange ao aquecimento global, e ao controle das emissões de gases de efeito estufa, (Greenhouse Gas, GHG). O texto PL no. 523/2007 especifica que, até 2010 a administração, tanto em nível federal, como estadual e municipal, devam ter concluído o inventário das emissões de carbono de todas as suas atividades e, até 2015, medidas tenham sido adotadas para que as atividades desenvolvidas por eles sejam neutras com relação à emissão de carbono.

Neste contexto encontra-se o estudo proposto por Geller et al. (2004), que simulou por meio de um modelo computacional (Modelo Integrado de Planejamento de Energia, IMEP), e referente a um cenário de energias limpas, e afirmou que o aumento das emissões de CO₂ estaria limitado a 23% durante esta década. Conseqüentemente, a implantação de políticas como o PROINFA, são passíveis de contribuir para o esforço global, para limitar a emissão de GHG. Desse modo, conforme afirmaram Geller et al. (2004), a aplicação de políticas também poderia proporcionar oportunidades para projetos co-financiados por intermédio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Quioto (por exemplo, para os custos incrementais associados com a instalação de sistemas de cogeração de energia eólica, solar fotovoltaica, ou bagaço).

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) reportou que a capacidade de geração do Brasil, relativamente a usinas do ti-

po PCH em operação, representa uma potência total de 2.067.933 kW, com 302 PCHs. (ANEEL, 2007a). Em 2006, a ANEEL autorizou a entrada em operação de 17 novas PCHs, com potência total de 192,18 MW, assim como a ampliação de outras sete, com capacidade conjunta de 31,325 MW. (ANEEL, 2007b). No contexto da CEMIG, as usinas hidrelétricas - na maior parte pequenas e médias centrais - encontram-se muito espalhadas no estado de Minas Gerais, além de existirem uma média central hidrelétrica no Espírito Santo e duas pequenas centrais hidrelétricas em Santa Catarina. A distância média entre Belo Horizonte e as pequenas e médias centrais hidrelétricas da CEMIG GT é de aproximadamente 375 km, havendo até mesmo de distância de 820 km da capital. (DIAS & SILVA, 2008).

3. RESÍDUOS SÓLIDOS versus PCHs

O problema de sólidos flutuantes afetou sobremaneira a Light, que celebrou recentemente uma parceria com o município do Carmo-RJ, visando ao licenciamento para construção de um aterro sanitário, em decorrência da necessidade de extração diária de oito toneladas de lixo do rio Paraíba do Sul. Estes resíduos sólidos (RS) vêm fluando, ocasionando a obstrução das grades da Usina Hidrelétrica de Ilha dos Pombos, e em quantidade correspondente à produção diária de uma cidade de 10 mil habitantes. O projeto custou R\$140 mil. (ABES, 2008).

Barros et al. (2008a) e Oliveira (2008) quantificaram os RS retidos em duas grades de retenção de RS na PCH Luiz Dias, Itajubá-MG, e sua relação com a perda de carga, a potência hidráulica disponível, e a análise dos custos envolvidos. Os valores de média e desvio-padrão obtidos para os RS retidos em ambas as grades no canal de adução, foram para os meses de agosto, setembro e outubro de 2007, respectivamente de $Q_{RS}=13,98$ kg e $\sigma=12,95$ kg; $Q_{RS}=26,33$ kg e $\sigma=14,54$ kg; e $Q_{RS}=18,67$ kg e $\sigma=12,01$ kg (onde Q_{RS} denota quantidade média de resíduos sólidos e desvio-padrão). Considerando o custo da tarifa praticada no mercado de R\$ 138,00 MWh -, os autores (op. cit.) obtiveram como resultados, uma perda estimada acumulada para o período em estudo (de agosto a setembro de 2007), de R\$ 405,34, equivalente a uma perda de energia de 2,94 MWh. Barros et al. realizaram o cálculo de um páteo de compostagem para tratamento dos RS, e em se-

guida utilizaram a ferramenta de cálculo, o WARM (USEPA, 2006), visando à quantificação dos gradientes energéticos e de emissão de GHG. Os autores (op. cit.) concluíram que houve benefícios ambientais associados à prática da compostagem, como exemplo, a redução de 14 tCO₂ (toneladas de dióxido de carbono) e de 4 tC (toneladas de carbono). Para tal, a produção anual de RS foi estimada, com base em dados apresentados em Barros et al. (2008a) e Oliveira (2008), e correspondeu ao valor de 15.062,40 kg (em fase de elaboração).

4. EMISSÕES DE GHG DE PCHs

A geração de energia elétrica pode causar impactos ambientais, tanto em nível local, relativos a determinadas emissões de gases e, habitualmente, circunscritas a regiões específicas nas quais os efeitos diretos e indiretos podem ser notados, como em nível mundial, relacionados com as emissões de GHG. (SCHAEFFER & SZKLO, 2001). As emissões de GHG, conforme afirmaram Denholm & Kulcinski (2004) são geralmente inventariados em termos de CO₂ equivalente (tCO₂) e não incluem as emissões de gases estufa que não sejam o CO₂, como o metano e óxido nitroso. Rosa & Schaeffer (1995) avaliaram as emissões de GHG, devido à decomposição anaeróbia da matéria orgânica submersa no interior de reservatórios de água (dependendo do volume submerso de biomassa no reservatório e da relação entre CH₄ e produção de CO₂, conforme a fração de biomassa que sofre tanto, a decomposição anaeróbia ou aeróbia). Os autores (op. cit.) sugeriram que, apesar dos efeitos cumulativos de aquecimento das emissões dos GHG dos reservatórios de hidrelétricas possam estar longe de serem insignificantes, para os casos estudados de hidroeletricidade, em geral, contribui menos para o efeito de estufa, durante um longo horizonte de tempo, quando comparadas à produção de eletricidade por combustíveis fósseis. Essa assertiva foi corroborada por Gleick (1992), que relataram sobre a existência de uma percepção de que hidroelétrica possui vantagens ambientais e econômicas maiores com relação à eletricidade produzida por tecnologias convencionais de energia.

Entretanto, Gleick (1992), advertiu para o fato dos impactos ambientais causados por hidrelétricas serem uma função do tamanho e tipo de projeto. O autor (op. cit.) concluiu que as diferenças no tipo de instalação, como indicado pela relação entre a al-

1 -UNIFEI - mambeli@unifei.edu.br
2 -UNIFEI - biolmorena@yahoo.com.br
3 -UNIFEI - tiago@unifei.edu.br.

BARROS, R. M.; OLIVEIRA, M. R.; TIAGO FILHO. Benefícios ambientais da compostagem de resíduos sólidos retidos nas grades da tomada d'água da PCH Luiz Dias Itajubá-MG. In: CONFERÊNCIA DE PCH MERCADO & MEIO AMBIENTE, 4., São Paulo. Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas. /artigo aceito/. 2008b.

tura da barragem e carga estática bruta, muitas vezes são muito importantes a partir de uma perspectiva ambiental, que as diferenças na capacidade instalada de uma instalação elétrica. Gleick (1992) também ressaltou que o desenvolvimento de instalações hidroelétricas (independente do seu tamanho), é muitas vezes acompanhado por perturbações ambientais e ecológicas comparáveis ou superiores àqueles de instalações não-convencionais de energia hidroelétrica.

Não obstante, Fearnside (2002) em estudo da hidrelétrica de Tucuruí, advertiu que caso todas as barragens foram construídas, haveria uma inundação de 3% da floresta amazônica brasileira; e a emissão de GHG em 1990 seria equivalente a intervalo entre 7,0.106 a 10,1.106 toneladas de carbono equivalente (tC). No entanto, há que se considerar que o reservatório de Tucuruí possui grande profundidade. Em estudo comparativo realizado por Lima (2005), entre dois reservatórios na Amazônia: o Tucuruí (maior profundidade) e Samuel (superficial), estimou-se que são liberados em média $13,82 \pm 22,94$ e $71,19 \pm 107,4$ mgCH₄ m⁻².d⁻¹, respectivamente. O autor (op. cit.) afirmou que os valores de 13 C-CH₄, a partir de sedimentos para a atmosfera, indicam que o reservatório mais profundo teria ampliado a camada metanotrófica, oxidando grandes quantidades de 13 C-CH₄ (atividade metanotrófica mais intensa em Tucuruí, antes de atingir a atmosfera); enquanto que 13 C-CH₄ seria liberado diretamente a partir de Samuel (superficial). Ramos & Rosa (2007) apresentaram valores de emissões de metano (em Tg/ano), da superfície de três reservatórios (bolhas e difusa), a saber: Serra da Mesa, em Tocantins, de 0,05; em Tucuruí, de 0,01; e em Itaipu, de 0,04.

Como mencionado por Vianna (2007a), como principais medidas do texto da PL no.523/2007, contempla-se a implantação de um programa nacional para fomento à geração distribuída (GD) e medidas de incentivo à construção, reativação e Repotenciação das PCHs. A GD é entendida, conforme citou Vianna (2007a), como a produção de energia descentralizada, isto é, a produção de energia por meio de fontes modulares, em geral de pequeno porte, integradas à rede ou isoladas e usadas pelas concessionárias, consumidores e/ou terceiros em aplicações que beneficiem o setor elétrico, os consumidores finais, ou ambos. O texto da PL no.523/2007, menciona que a construção e reativação de PCHs será incentivada por intermédio de mecanismos financeiros, tributários e econômicos, de modo a estimular a GD. No mesmo documen-

to, é definido que o Poder Público deverá promover o inventário do potencial para construção, reativação ou Repotenciação das PCHs.

Vianna (2007b) mencionou que a maioria dos projetos brasileiros de MDL submetidos à análise, ou seja, 61% referem-se à geração de energia - com uma instalação de capacidade adicional de 2.200 MW, dos quais 1.150 MW em co-geração com bagaço de cana; não obstante a grande redução de emissão ocorre em projetos de redução de emissões de óxido nitroso e de redução de metano. Com relação ao metano, destacam-se, segundo Vianna (2007b), os projetos de redução de emissões nos aterros sanitários e na suinocultura.

Tiago Filho & Nunes quantificaram as emissões de GHG originários de uma planta termoelétrica operando com categorias distintas de combustíveis: gás natural, óleo combustível, óleo diesel, e carvão e as emissões de uma planta hidrelétrica (PCH). Foram considerados dois cenários de atuação de uma PCH padrão de 15MW, o primeiro correspondendo a uma área alagada de 3km² e o segundo a uma área de 13km². Para tal, os autores (op. cit.) utilizaram os valores calculados pelo método de Câmara de Difusão - em que a emissão de CO₂ por MWh do reservatório da UHE é de 0,0547 tC/MWh -, e com base em correlação com dados de emissão de CO₂ disponíveis da UHE Curuá-Uma. O primeiro cenário forneceu valores médios de emissão de 0,00531 tC/MWh, e o segundo cenário de 0,0243 tC/MWh. Com relação ao gás natural, por exemplo, foram estimadas para o primeiro cenário a adicionalidade de 724,28 tC/ano e uma receita anual gerada de (considerando tC : R\$ 21,51) de R\$ 15.579,31. Estes mesmos valores, para o segundo cenário foram de 687,07 tC/ano e R\$ 14.778,98, passível de gerar receitas significativas através da venda de créditos de carbono.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

No presente estudo, a partir da projeção de geração de RS efetuada por Barros



Figura 1- Fotografia aérea da região da PCH Luiz Dias (destaque a esquerda), com a especificação do distrito do Rio Manso (destaque a direita). Fonte: PMI (2005).

et al. (2008b), e com base em Barros et al. (2008a) e Oliveira (2008), foram elaborados cenários de tratamento do RS da PCH Luiz Dias, em parte decorrência das atividades desenvolvidas na comunidade a montante, o distrito do Lourenço Velho (Figura 1). De acordo com dados de 2000 do IBGE, a população para o mencionado conglomerado populacional era de 1.203 hab assim distribuídos 170 pessoas em uma pequena área urbana do distrito, e de 1033 pessoas na área rural do mesmo (IBGE, 2000). Conforme pode ser verificado na Figura 1, a área inundada do reservatório é muito pequena, de cerca 1 ha (ou 10.000m²). Tais cenários abarcaram duas hipóteses: a primeira, com a quantidade total de RS sendo enviada ao aterro sanitário municipal de Itajubá-MG (Cenário 1) e, a segunda com a quantidade estimada de RS sendo encaminhada à compostagem (Cenário 2), portanto, desviada do mencionado aterro. Por intermédio do software Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) v.3.02, da United States Environmental Protection Agency (USEPA), a geração de gases do aterro foi estimada para os dois cenários supracitados e comparados.

5.1 Estimativa da geração de gases do aterro sanitário

O software LandGEM v.3.02, da USEPA (USEPA, 2005), foi utilizado para a estimativa das taxas de emissão para o total dos gases, metano, dióxido de carbono e compostos orgânicos não-metano (NMOCs), do aterro sanitário municipal de RS (Itajubá-MG). O modelo contém dois conjuntos de parâmetros-padrão, os valores do CAA (Clean Air Act) e valores de inventário. Estes últimos são baseados em fatores de emissão disponíveis na obra de compilação dos fatores de emissão de poluentes atmosféricos (AP-42) da USEPA (s/d). O LandGEM consiste em um modelo com base em uma equação de decomposição de primeira ordem (Equação 1), para quantificar as emissões de gases de RS dispostos em aterros sanitários municipais.

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1} k.L_0 \cdot \frac{M_i}{10} \cdot e^{-k.t_{i,j}} \quad (1)$$

Onde:

Q_{CH_4} é a geração anual de metano no ano calculado (m³/ano); $i = 1$ incremento de tempo anual; $n = (\text{ano de cálculo}) - (\text{ano inicial de recebimento de RS})$; $j = 0,1$ incremento de tempo anual; $k = \text{taxa de geração de metano (ano-1)}$; $L_0 = \text{capacidade potencial de geração de metano (m}^3\text{/Mg)}$; $M_i = \text{massa de RS aceita no } i\text{-ésimo ano (Mg)}$; $t_{i,j} = \text{idade da } j\text{-ésima seção da massa de RS } M_i \text{ aceita no } i\text{-ésimo ano (anos decimais, por exemplo, 3,2 anos)}$.

Quanto maior o valor de k , mais rápida aumenta a taxa de geração de metano e, depois, decai ao longo do tempo. O valor de k é essencialmente uma função de quatro fatores: a taxa de umidade da massa dos RS, a disponibilidade de nutrientes para os microorganismos decompositores dos RS formarem o metano e dióxido de carbono; pH e temperatura da massa de RS.

A capacidade potencial de geração de metano, L_0 , é função apenas do tipo e da composição de RS depositados no aterro: quanto maior o teor dos resíduos de celulose, maior será o valor de L_0 . Os valores utilizados neste estudo para k e L_0 , foram de respectivamente, 0,05 ano⁻¹ e 170 m³/Mg. O período de tempo de deposição de RS no aterro sanitário municipal de Itajubá-MG foi considerado de 20 anos, a partir de 2007. Para o LandGEM, o gás do aterro é assumido para ser de 50% de dióxido de carbono e 50% de metano, com traços de constituintes adicionais de NMOC. A concentração de NMOC (para o padrão CAA) é de 4000 ppmv (partes por milhão por volume), como hexano. A produção de dióxido de carbono (Q_{CO_2}) calculada pelo LandGEM, a partir da produção de metano (Q_{CH_4}) e do teor percentual de metano (P_{CH_4}) utilizando a Equação 2.

$$Q_{CO_2} = Q_{CH_4} \cdot \left(\frac{1}{P_{CH_4}/100} \right) - 1 \quad (2)$$

5.2 Aterro sanitário municipal de Itajubá-MG

Inicialmente, para o cálculo do aterro sanitário municipal de Itajubá-MG, foi necessário proceder à projeção populacional do município, para a qual foram usados os dados do censo e contagem de população do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), referente aos anos de $t_0=1996$ ($P_0=79.961$ hab), $t_1=2000$ ($P_1=84.135$ hab), e $t_2=2007$ ($P_2=86.673$ hab). Tais dados consistiram em valores de entrada para os modelos de projeção populacional apresentados em Von Sperling (2005), a saber: projeção aritmética, projeção geométrica, projeção com taxa decrescente de crescimento e projeção com crescimento logístico. Dentre estes, a projeção aritmética foi utilizada neste estudo. Em seguida, o aterro sanitário municipal de Itajubá-MG foi calculado com base em metodologia proposta por Jaramillo (2002). Gonçalves (2007) apresentou estudo sobre a potencialidade energética dos RS de Itajubá-MG, dispostos em aterro sanitário, também por meio do uso do LandGEM, assim como mostrou resultados do quarteamento dos RS, visando à caracterização gravimétrica dos mesmos. Os valores do referido quarteamento dos RS foram usados no presente estudo, especificamente o valor referente ao material orgânico (41,9%).

Deste modo, com os valores de RS dispostos no aterro sanitário municipal calculado conforme metodologia de Jaramillo (2002), e levando em consideração apenas a parcela de material orgânico (41,9%) apresentada por Gonçalves (2007), procedeu-se ao cálculo com o software LandGEM para o Cenário 1 e Cenário 2, com de-

posição de RS até o ano de 2027 e simulação de geração de gases até o ano de 2147. Ambos os cenários foram comparados, para verificação da não-geração de metano e demais gases do aterro sanitário municipal.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados consistiram na comparação, visando à averiguação da não-geração de gases metano, dióxido de carbono e NMOC do aterro sanitário municipal de Itajubá-MG.

6.1 Projeção populacional e cálculo do aterro sanitário municipal

O gráfico da Figura 2 apresenta os dados da projeção populacional (Figura 1a), da área calculada para o aterro sanitário municipal e de geração de material orgânico (Figura 1b), para o município de Itajubá-MG.

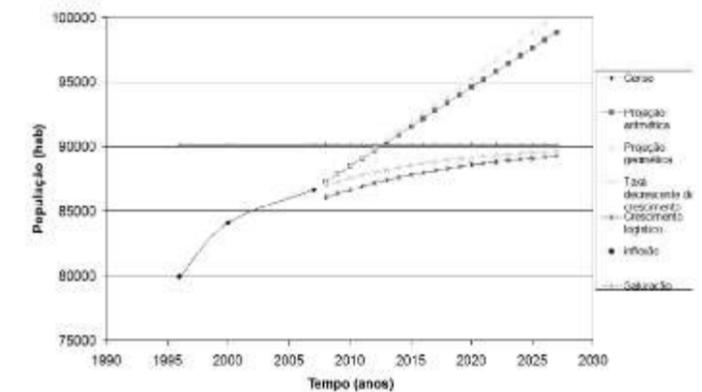


Figura 2a- Projeção populacional

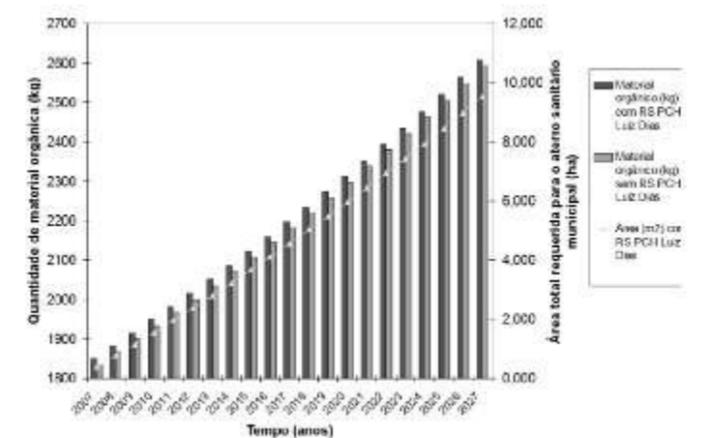


Figura 2b- área calculada para o aterro sanitário municipal e geração de material orgânico, para o município de Itajubá-MG.

Do gráfico da figura 2a, avaliaram-se as discrepâncias esperadas entre os modelos de projeções populacionais. Dentre os modelos analisados, foi escolhido o modelo de projeção populacional aritmética. Verificou-se durante os cálculos, que os valores de área total requerida para o aterro sanitário municipal de RS não seriam afetados em razão da disposição dos RS oriundos da PCH Luiz Dias, e ao final de 20 anos, em 2027, o valor dessa área seria de 9,527 ha. No entanto, foi observada uma diferença na deposição de material orgânico entre o Cenário 1 e Cenário 2, conforme pode ser verificado pelo gráfico da Figura 2b, passível de acarretar diversidade na geração de gases do aterro sanitário municipal.

6.2 Produção de gases no aterro sanitário municipal

As diferenças nos valores estimados por intermédio do uso do software LandGEM (USEPA, 2005), estão apresentadas no gráfico da Figura 3.

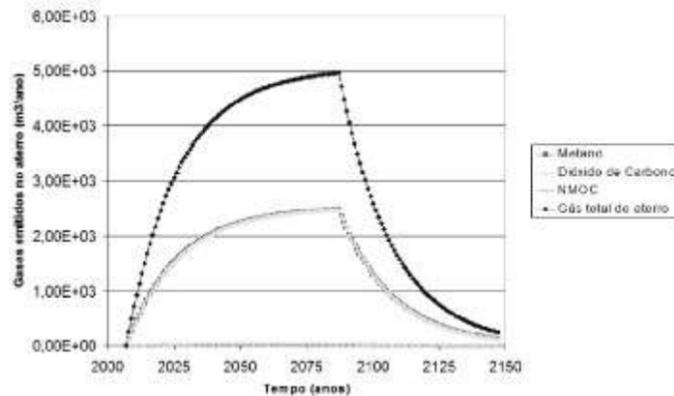


Figura 3- Diferenças nas estimativas de emissões de gases do aterro sanitário municipal de Itajubá-MG, entre os cenários 1 e 2.

A despeito da diferença pequena entre a produção de material orgânico com e sem a deposição de RS oriundos da PCH Luiz Dias, haveria uma diferença na produção de gases total do aterro considerável. Com relação aos gases totais do aterro, o valor de pico seria de 4,96.103 (m³/ano), em 2087; relativamente ao metano e dióxido de carbono, tais valores seriam equivalentes, em razão da porcentagem assumida pelo LandGEM (de 50% para cada um), e de 2,48.103 (m³/ano), também em 2087. Para os NOMC, o valor de pico foi alcançado em 2087 e foi de 1,98.101 (m³/ano). Os valores totais de produção de gases estimados, a partir dos valores simulados com o LandGEM, entre os anos de 2007 e 2147, para os gases totais do aterro, metano, dióxido de carbono e NMOC, foram de respectivamente 4,01.105m³, 2,01.105m³, 2,01.105m³ e 1,60.103m³. Considerando a densidade do metano como 0,7174 kg/m³, e do dióxido de carbono como 1,98 kg/m³, os valores totais produzidos seriam de 1,44.105 kg (1,44.102 ton) para o metano e 3,97.105 kg (3,97.102 ton) para o dióxido de carbono, com valores médios de 1,80 (ton_{CH₄}/ano) e de 4,92 (tCO₂/ano). Tais valores em toneladas de dióxido de carbono equivalente, conforme metodologia de USEPA (2006), seriam de 3.421 tCO₂, equivalente às emissões anuais de 568 veículos de passageiros, ou ao carbono sequestrado anualmente por 285,30 ha (705 acres) de florestas de pinus (ou abetos), ou às emissões de dióxido de carbono de 1.333.479 litros (352.268 galões) de gasolina consumidos, ou ainda ao carbono sequestrado por 79.576 árvores plantadas e em crescimento por 10 anos.

Ao considerar o valor proposto por Lima (2005), dos reservatórios na Amazônia, e admitindo o valor do reservatório de Samuel (superficial), cujo valor estimado de liberação em média, é de 71,19 ± 107,4 mgCH₄ m⁻².d⁻¹, e considerando também que o reservatório de água é muito pequeno na PCH Luiz Dias, a estimativa anual seria de 2,598.10⁻⁵ ton_{CH₄}/m².ano. Como a área inundada da PCH Luiz Dias é de cerca de 10.000m², portanto, haveria uma emissão de 0,260(ton_{CH₄}/ano). Com uma redução média de 1,800, em decorrência do não encaminhamento dos RS ao aterro sanitário municipal, iria produzir um saldo positivo de não emissão de metano de 1,540(ton_{CH₄}/ano). Por meio de cálculos de equivalência da USEPA (2006), esse valor é análogo a 32,3 tCO₂. Ao levar em consideração o valor proposto por Tiago Filho & Galhardo (2008) de 0,00531 tC/MWh, e uma produção média da PCH Luiz Dias de 16,500 MWh, haveria uma geração de 0,0876 tC ou 0,3200 tCO₂,

que seria amortizada também pelo mencionado valor médio anual de 32,3 tCO₂.

7. CONCLUSÕES

O presente estudo objetivou avaliar dois cenários de tratamento/disposição final dos RS retidos nas grades da tomada d'água da PCH Luiz Dias, Itajubá-MG, relativamente à redução na produção de gases no aterro sanitário municipal. Dos resultados obtidos de simulação no LandGEM com início das operações do aterro em 2007 e fechamento do mesmo em 2027 do aterro (vida útil de 20 anos), e produção de gases avaliada até 2147, foi possível concluir que:

- A despeito de não haver alteração no cálculo da área total requerida para o aterro sanitário municipal - cujo valor é de 9,527 ha no ano de 2027 -, existem diferenças significativas na redução da produção de gases no aterro. Na seqüência de tais valores, seria alcançado o valor de pico de 4,96.103 (m³/ano), em 2087; e a produção total dos mesmos seria de 4,01.105 m³.

- Os valores de diminuição do metano e dióxido de carbono seriam equivalentes, em razão da porcentagem assumida pelo LandGEM (de 50% para cada um), e de 2,48.103 (m³/ano), também em 2087. A produção total de cada gás (CO₂ e CH₄) seria de 2,01.105m³. Haveria uma amortização na produção de metano de 0,279(ton_{CH₄}/ano), e de um valor médio anual de 4,9250 tCO₂. Com relação aos NOMC, o valor de pico seria de 1,98.101 (m³/ano) e seria alcançado em 2087; e a produção total de NMOC seria de 1,60.103m³.

- Os valores totais produzidos seriam de 1,44.105 kg (1,44.10² ton) para o metano e 3,97.105 kg (3,97.10² ton) para o dióxido de carbono. Tais valores tornar-se-iam equivalente a 3.421 tCO₂, ou às emissões anuais de 568 veículos de passageiros, ao carbono sequestrado anualmente por 285,30 ha (705 acres) de florestas de pinus (ou abetos), às emissões de dióxido de carbono de 1.333.479 litros (352.268 galões) de gasolina consumidos, ou ainda ao carbono sequestrado por 79.576 árvores plantadas e em crescimento por 10 anos.

- Por intermédio de cálculos de equivalência da USEPA (2006), 1,540(ton_{CH₄}/ano) são equivalentes a 32,3 tCO₂. Considerando-se o valor proposto por Tiago Filho & Galhardo (2008) de 0,00531 tC/MWh, e uma produção média da PCH Luiz Dias de 16,500 MWh, haveria uma geração de 0,3200 tCO₂, que seria amortizada também pelo mencionado valor médio anual de amortização de 32,3 tCO₂.

- Os benefícios ambientais são evidentes em razão da não emissão de GHG, em razão do desvio de RS orgânicos aos aterros sanitários municipais. Considerando que PCHs podem possuir valores de potência instalada de até 30 MW, e as comunidades a montante podem ser maiores que os 1.203 hab do presente estudo, esta metodologia poderia ser usada em tais casos em as reduções de GHG poderiam se tornar maiores e passíveis de amortizarem eventuais emissões de GHG de reservatórios.

8. AGRADECIMENTOS

Ao Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas (CERPCH), pela disponibilidade, sobretudo de funcionários, dados e informações. Ao Eng. Ângelo Stano Júnior e ao Eng. Carlos Adriano Rosa, pela grande disponibilidade. À Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), cuja parceria estabelecida com a Unifei que tem permitido o desenvolvimento de trabalhos de cunhos científicos, tecnológicos, educacional e social em Itajubá e região.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. BIG - Banco de Informações de Geração: Capacidade de Geração do Brasil - USINAS do tipo PCH em Operação. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/GeracaoTipofase.asp?tipo=5&fase=3>. Acesso em 03 jul. 2008.
- Relatório ANEEL 2006 / Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília: ANEEL, 2007.
- ASLANA, Y.; ARSLANB, O.; YASAR, C. A sensitivity analysis for the design of small-scale hydropower plant: Kayabogazi case study. *Renewable Energy*, v. 33, n. 4, p. 791-801, apr. 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL-ABES. Lucro em dobro: parceria entre Light e o município do Carmo, no Rio de Janeiro, viabiliza licenciamento para a construção de um aterro sanitário. *Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente*, n. 46, p. 20. 2008.
- BALAT, H. A renewable perspective for sustainable energy development in Turkey: The case of small hydropower plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 11, n. 9, p. 2152-2165, dec. 2007.
- BAMBACE, L.A.W.; RAMOS, F.M.; LIMA I.B.T.; ROSA R.R. Mitigation and recovery of methane emissions from tropical hydroelectric dams. *Energy*, v. 32, n. 6, p. 1038-1046, jun. 2007.
- BARROS, R. M.; OLIVEIRA, M. R.; TIAGO FILHO, G. L.; COSTA, H. S. Estudo do efeito da retenção de resíduos sólidos em grades sobre o potencial energético de uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH): o caso da Usina Luiz Dias, Itajubá-MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PEQUENAS E MÉDIAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS. 6., Belo Horizonte. Comitê Brasileiro de Barragens. Anais....Belo Horizonte, 2008a.
- BRASIL. Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis no 9.427, de 26 de dezembro de 1996, no 9.648, de 27 de maio de 1998, no 3.890-A, de 25 de abril de 1961, no 5.655, de 20 de maio de 1971, no 5.899, de 5 de julho de 1973, no 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 29 abr. 2002 (Edição extra).
- Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003. Dispõe sobre a criação do programa emergencial e excepcional de apoio às concessionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica, altera as leis nº 8.631, de 4 de março de 1993, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 12 nov. 2003.
- Lei nº 10.848/04, de 15 de março de 2004. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nos 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 16 mar. 2004., p.2.
- Decreto nº 5.025, de 30 de março de 2004. Regulamenta o inciso I e os §§ 1º, 2º, 3º, 4º e 5º do art. 3º da Lei no 10.438, de 26 de abril de 2002, no que dispõem sobre o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA, primeira etapa, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 31 mar. 2004.
- COSTA, C. V.; LA ROVEREA, E.; ASSMANN, D. Technological

innovation policies to promote renewable energies: Lessons from the European experience for the Brazilian case. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 12, n. 1, p. 65-90, jan. 2008.

DENHOLM, P.; KULCINSKI, G. L. Life cycle energy requirements and greenhouse gas emissions from large scale energy storage systems. *Energy Conversion and Management*, v. 45, n. 13-14, p. 2153-2172, aug. 2004.

DIAS, G. G.; SILVA, R. P. Dificuldades e medidas de controle no gerenciamento da manutenção civil das pequenas e médias centrais hidrelétricas na CEMIG GT. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PEQUENAS E MÉDIAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS, 6., 2008, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: Comitê Brasileiro de Barragens, 2008. 1 CD-ROM.

DUTRA, R. M.; SZKLOA, A. S. Incentive policies for promoting wind power production in Brazil: Scenarios for the Alternative Energy Sources Incentive Program (PROINFA) under the New Brazilian electric power sector regulation. *Renewable Energy*, v. 33, n. 1, p. 65-76, jan. 2008.

FEARNSIDE, P. M. Greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoir (Brazil's Tucuruí Dam) and the energy policy implications. *Water, Air, and Soil Pollution*, v. 133, n. 14, p. 69-86, 2002.

GELLER, H.; SCHAEFFER, R.; SZKLO, A.; TOLMASQUIM, M. Policies for advancing energy efficiency and renewable energy use in Brazil. *Energy Policy*, v. 32, n. 12, p. 1437-1450, aug. 2004.

GLEICK, P. H. Environmental consequences of hydroelectric development: The role of facility size and type. *Energy*, v. 17, n. 8, p. 735-747, aug. 1992.

GONÇALVES, A.T.T. (2007). Potencialidade Energética dos Resíduos Sólidos Domésticos e Comerciais do Município de Itajubá-MG. 2007. 190f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Universidade Federal de Itajubá-MG, Itajubá, 2007.

HICKS, C. Small hydropower in China A new record in world hydropower development. *Refocus*, v. 5, n. 6, p. 36-40, nov./dec. 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. População residente por situação do domicílio, sexo, forma de declaração da idade e idade. IBGE, 2000. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?z=cd&o=4&i=P>. Acesso em: 28 mai. 2008.

JARAMILLO, J. GUÍA PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS MANUALES. Una solución para la disposición final de residuos sólidos municipales en pequeñas poblaciones. Colombia: Universidad de Antioquia, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002. OPS/CEPIS/PUB/02.93. 287 p.

OLIVEIRA, M. R. Estudo do efeito da retenção de resíduos sólidos em grades sobre o potencial energético de uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH): o caso da Usina Luiz Dias, Itajubá-MG. 45 p. Monografia (Especialização) - Instituto de Recursos Naturais da Universidade Federal de Itajubá (IRN / UNIFEI), Itajubá, 2007.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ITAJUBÁ – PMI. Levantamento aerofotogramétrico – Mosaico. Itajubá: PMI, 2005.

ROSA, L. P.; SCHAEFFER, R. Global warming potentials: The case of emissions from dams. *Energy Policy*, v. 23, n. 2., p. 149-158, 1995.

SCHAEFFER, R.; SZKLO, A. S. Future electric power technology choices of Brazil: a possible conflict between local pollution