



III-277 - BIOENERGIA A PARTIR DE UM ATERRO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL

Felipe Jucá Maciel⁽¹⁾

Eng^o. Civil e Mestre em Eng^a. Civil (UFPE). Doutorando em Eng^a. Civil/Área de Geotecnia Ambiental (UFPE). Coordenador técnico do Projeto P & D da CHESF/UFPE na área de aproveitamento energético do biogás na Muribeca. Membro do Grupo de Resíduos Sólidos/GRS-UFPE

José Fernando Thomé Jucá

Prof. Dept. Eng^a. Civil (UFPE). Doutor pela Universidad Politécnica de Madrid. Coordenador do Grupo de Resíduos Sólidos – GRS/UFPE. Coordenador do Programa de Monitoramento dos Aterros da Muribeca-PE, Aguazinha – Olinda e Metropolitano de João Pessoa. Coordenador dos Projetos PROSAB-FINEP, PRONEX e CHESF/UFPE. Consultor do Ministério das Cidades na área de resíduos sólidos.

Ingrid Roberta de França Soares Alves

Graduada em Ciências Biológicas – Bacharelado pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Mestre em Eng^a. Civil (UFPE). Membro do Grupo de Resíduos Sólidos/GRS-UFPE.

Régia Lúcia Lopes

Eng^a. Civil e Mestre em Eng^a. Química (UFRN). Doutoranda em Eng^a. Civil/Área de Geotecnia Ambiental (UFPE). Prof^a. do IFRN Campus Natal-Central, dos cursos Técnicos e Graduação Tecnológica da área de Meio Ambiente, desde 1991. Membro do Grupo de Resíduos Sólidos/GRS-UFPE

Gustavo Adolfo Batista Nogueira

Engenheiro Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Doutorando em Geotecnia Ambiental da UFPE. Eng. responsável pelo monitoramento da Célula Experimental da Muribeca/PE. Membro do Grupo de Resíduos Sólidos da Universidade Federal de Pernambuco (GRS-UFPE).

Endereço⁽¹⁾: Av. Bernardo Vieira de Melo, 3142, apt. 1601, Piedade, Jaboatão/PE - CEP: 54.410-010 - Brasil - Tel: (81) 8882-8428 - e-mail: maciel2@hotmail.com

RESUMO

Este artigo tem como objetivo apresentar os principais resultados obtidos no âmbito de um projeto piloto para recuperação energética do biogás, em uma célula experimental com cerca de 36.000 t de resíduos urbanos no Aterro da Muribeca/PE. Tal projeto foi financiado pela CHESF e foi implantado em uma nova área do aterro com cerca de 10.000 m², disponibilizada pela Prefeitura do Recife. Destaca-se o desenvolvimento de novas metodologias para caracterização físico-química dos resíduos e para avaliação do potencial de geração de biogás que contribuirão para a definição de parâmetros locais da degradação dos resíduos, as quais são importantes para análise da produção de energia em aterros de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil. Conclui-se que a degradação dos resíduos ocorre de forma muito mais acelerada que previsto na literatura técnica internacional e, consequentemente, a produção de biogás pode ser significativamente elevada nas fases iniciais de degradação dos resíduos. Este fato é de suma importância para a gestão dos RSU no que se refere à sustentabilidade social, econômica e ambiental das alternativas de tratamento e destinação final dos RSU.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Urbanos, Caracterização, Biodegradação, Biogás, Energia, Eficiência.

INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos urbanos da Região Metropolitana do Recife (RMR) está passando por um período crítico de transição haja vista que o principal aterro da região, Aterro Controlado da Muribeca, e que recebe atualmente 2.400 t/dia, está próximo de encerrar sua vida útil e existem incertezas se as soluções técnicas e políticas adotadas serão econômica, ambiental e socialmente adequadas para o destino final dos RSU.

As alternativas existentes para solucionar a questão dos resíduos urbanos na RMR são: (I) consórcio empresarial que venceu licitação pública para operar um incinerador de RSU durante um período de concessão 20 anos. Este incinerador foi dimensionado para receber 1.350 ton/dia de resíduos sólidos urbanos de Recife e produzir 15,8 MW de energia e outros subprodutos; (II) um aterro sanitário privado que já está



operando em área próxima ao Aterro Controlado da Muribeca, mas o problema social que envolve cerca de 1.000 catadores não foi considerado neste projeto e (III) um novo aterro sanitário público vizinho ao atual destino final está em fase de instalação, entretanto existem conflitos de ordem jurídico-legal que vem atrasando o desenvolvimento do empreendimento. Vale ressaltar que este último aterro contempla os aspectos sociais com a instalação de unidades de segregação prévia para acomodar os trabalhadores das cooperativas de catadores. Um Projeto Piloto de P & D para recuperação do biogás a partir de RSU faz parte deste último projeto e será discutido neste estudo.

O objetivo deste trabalho é apresentar a avaliação do potencial energético dos resíduos sólidos urbanos de Recife/PE, analisando os resultados iniciais dos parâmetros de geração de biogás (pressão, composição, vazão) de uma célula experimental localizada no aterro da Muribeca que foi preenchida com 36.000 ton de RSU. A caracterização física e química dos resíduos foi conduzida em 30 ensaios antes e durante o período de enchimento de células. Esta caracterização envolveu a composição dos resíduos em peso seco e molhado e em base volumétrica, sólidos voláteis, celulose, lignina, carboidratos, lipídios e umidade, potencial calorífico das diferentes frações de RSU, testes de compressão e ensaios de potencial bioquímico do metano (BMP).

MATERIAIS E MÉTODOS

O Projeto Piloto para Recuperação Energética do Biogás no Aterro da Muribeca/PE é um projeto de P & D que prevê a construção de uma célula experimental de resíduos sólidos urbanos, na qual é feita a recuperação do biogás gerado no processo de decomposição do lixo, além do seu aproveitamento com geração de energia elétrica. As dimensões da célula experimental são de 65 m x 85m por 9 m de altura e o volume de resíduos aterrados de cerca de 38.000 m³. A potência instalada do empreendimento é de 20 kW, o qual é suficiente para atender as necessidades de energia do Aterro da Muribeca/PE.

Os detalhes de projeto e de implantação da Célula foram apresentados por Maciel e Jucá (2007). Resumidamente, o Projeto Piloto para Recuperação Energética do Biogás no Aterro da Muribeca/PE foi desenvolvido com base nas seguintes fases:

- 1º fase: Sondagens de reconhecimento do subsolo;
- 2º fase: Transplante de árvores da área de influência;
- 3º fase: Limpeza do terreno;
- 4º fase: Regularização/escavação da área;
- 5º fase: Aquisição dos equipamentos mecânicos;
- 6º fase: Implantação da usina de energia;
- 7º fase: Execução da compactação da camada de base;
- 8º fase: Execução das drenagens de líquidos e gases;
- 9º fase: Enchimento da célula com resíduos;
- 10º fase: Execução da cobertura e drenagem pluvial.
- 11º fase: Instrumentação e testes de produção de energia na usina piloto
- 12º fase: Monitoramento geoambiental e operação da usina piloto.

A Figura 1 ilustra as diversas fases de enchimento da célula experimental desde a locação da área (A), enchimento com resíduos (B) até sua conclusão com a implantação da cobertura e drenagem pluvial (C) e posteriormente a implantação da usina piloto de energia. Atualmente, o projeto está na 12ª fase contemplando o monitoramento geoambiental da célula, avaliação da biodegradabilidade dos resíduos e operação da usina piloto.



Figura 1. Ilustração da implantação da célula experimental no Aterro da Muribeca/PE.



É importante ressaltar que, desde o início do processo de locação da célula e nas diversas fases de construção, vários ensaios de campo e laboratório foram realizados. O monitoramento preliminar do projeto abrangeu: (I) sondagens de reconhecimento do subsolo, (II) caracterização dos resíduos antigos; (III) caracterização do solo de base, (IV) controle da compactação (densidade e umidade em campo) da camada de base, (V) determinação da permeabilidade em amostras indeformadas da base, (VI) ensaios de placa de fluxo na base da célula, (VII) monitoramento dos gases sub-superficiais (lixo antigo) e (VIII) caracterização gravimétrica e volumétrica dos resíduos em diferentes rotas de coleta.

Durante o enchimento da Célula procederam-se: (I) ensaios de caracterização dos RSU (composição gravimétrica, volumétrica, compressibilidade, contaminação por partículas, teor de umidade por fração, teor de sólidos voláteis, calorimetria, celulose, lignina e lipídios), (II) amostragem de resíduos para avaliação do Potencial Bioquímico do Metano (BMP) e reatores de bancada; e (III) acompanhamento diário da quantidade de resíduos (por rota) e levantamento topográfico periódico para avaliar a densidade do maciço. O plano de monitoramento da Célula Experimental foi detalhado por Maciel *et. al.* (2007). Os detalhes da metodologia de todos os ensaios de campo e laboratório utilizados estão descritos em Maciel (2009).

RESULTADOS

Caracterização física e química dos resíduos sólidos urbanos da Muribeca

A composição física (gravimétrica e volumétrica) dos resíduos é um parâmetro auxiliar na avaliação do potencial de geração de gases. Na ausência da caracterização química do lixo, a física pode ser utilizada através de analogias, indiretas, baseadas em medições da produtividade de gases de outros resíduos e aterros com características parecidas. Alguns modelos teóricos de geração de biogás também utilizam este tipo de caracterização para previsão da produção de gás.

Os resíduos foram caracterizados física e quimicamente durante o enchimento da célula experimental para fins de avaliação dos parâmetros de biodegradabilidade do lixo e de como os mesmos influenciariam na geração de biogás. Uma nova metodologia de caracterização gravimétrica e volumétrica dos resíduos também foi



desenvolvida com utilização de um compactador com 04 estágios de compressão e determinação de umidade por cada tipo de fração de lixo. A Tabela 1 apresenta o resultado típico de caracterização física dos resíduos, onde observa-se que o percentual de matéria orgânica representa cerca de 48 % do total dos resíduos (base seca e limpa) e 30% em volume.

Tabela 1. Caracterização física dos resíduos da célula (Maciel, 2009).

Fração dos RSU	Composição gravimétrica dos RSU (%)			Composição volumétrica (%)
	base úmida	base seca	base seca-limpa	
Mat.Org. Putrescível	44,4	42,6	48,1	30,4
Papel/papelão	14,2	12,4	13,7	15,1
Plástico mole	16,9	18,9	11,4	19,3
Plástico duro	3,2	4,8	4,9	10,6
Isopor	0,4	0,6	0,6	2,0
Madeira	1,8	2,1	2,1	2,6
Tecido	4,4	4,3	4,1	4,6
Borracha/couro	1,6	2,5	2,7	2,3
Metais	1,7	2,5	2,3	3,3
Vidro	0,6	1,0	1,1	0,5
Fraldas descart.	3,4	N.A	N.A	3,1
Côco	2,7	1,5	1,4	3,8
Outros	4,7	7,0	7,6	2,4

A composição química dos resíduos é fundamental para estimar o potencial de geração do biogás e prever a biodegradação ao longo do tempo. Apesar de inúmeros fatores interferirem na produção dos gases, a caracterização química do lixo é a primeira etapa para a determinação da capacidade teórica de produção dos gases. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos com os resíduos da Muribeca.

Tabela 2. Caracterização química dos resíduos da Muribeca (Maciel, 2009).

Local de amostragem	Idade	pH	Sólidos Voláteis (%)	Carboidratos (%)	Proteína (%)	Lipídeos (%)	Lignina (%)
Célula Experimental (enchimento - 4 amostras)	Novo (≈ 15 dias)	$6,1 \pm 1,0$	$47,4 \pm 9,2$	$26,5 \pm 9,2$	$6,7 \pm 1,3$	$1,1 \pm 0,5$	$8,9 \pm 2,4$
Célula Experimental (SPT - 18 amostras)	< 1 ano	$7,1 \pm 0,78$	$28,8 \pm 9,9$	$24,9 \pm 6,5$	$3,3 \pm 0,7$	$1,3 \pm 1,0$	$11,4 \pm 5,2$
Inferior à base da Célula (05 amostras)	12-15 anos	$8,6 \pm 0,4$	$8,9 \pm 1,2$	$4,8 \pm 3,0$	$0,6 \pm 0,1$	< 0,1	$7,1 \pm 2,3$

Observa-se uma redução média de cerca de 40% no teor de sólidos voláteis (SV) após cerca de 1 ano de disposição dos resíduos na Célula Experimental. De acordo com a literatura técnica internacional, resíduos com SV entre 10-20% já podem ser considerados bioestabilizados. O constituinte químico que apresentou degradação mais acelerada foi a proteína, seguido do carboidrato. A redução percentual destas frações com base nas amostras de lixo novo (enchimento) e com 12 – 15 anos foi de 91,0 e 81,9%, respectivamente. Por outro lado, esperava-se uma redução do teor de carboidratos mais acentuada após o período de 1 ano, assim como foi registrado para o teor de SV. Por se tratar de substância com estrutura molecular complexa e de difícil degradação, o teor de lignina não apresentou comportamento similar aos outros constituintes químicos, os quais apresentaram significativa redução após longo período de disposição (12 – 15 anos). A influência da lignina na geração de biogás na Célula Experimental ainda precisa ser mais bem investigada em futuras pesquisas.



O pH dos resíduos ficou ligeiramente ácido ($6,1 \pm 1,0$) no enchimento da Célula Experimental, indicando que os resíduos sofreram uma rápida transição para a fase ácida. Após um período de cerca de 1 ano, o pH dos resíduos na célula atingiu valores próximo à neutralidade ($\text{pH} = 7,1 \pm 0,78$) indicando o estabelecimento da fase metanogênica. Valores de pH básicos foram encontrados nas amostras de resíduos antigas (inferior a base da célula) com 12 – 15 anos de disposição.

Calorimetria dos resíduos

O poder calorífico é um parâmetro importante para fins de avaliação da viabilidade técnica e energética dos processos de tratamento dos resíduos, entre os quais a disposição em aterros para aproveitamento do biogás e a incineração com produção associada de energia.

Os resultados do poder calorífico dos resíduos da Célula Experimental estão apresentados na Tabela 3. Entre as frações mais representativas dos RSU a de maior poder calorífico é a de “plástico rígido” com média de 37.620 kJ/kg, sendo, portanto, o principal combustível almejado pelas usinas térmicas de lixo e o principal constituinte a ser evitado nos aterros sanitários pela difícil biodegradabilidade e pelo elevado volume ocupado na massa de resíduos. Esta fração também é a principal matéria-prima de interesse para a reciclagem. Por outro lado, observa-se que a fração “plástico mole” possui baixo poder calorífico (11.708 kJ/kg), estando na mesma ordem de grandeza da “fração orgânica” e de “papel/papelão”.

Tabela 3. Calorimetria dos resíduos da Célula Experimental (Maciel, 2009).

Fração dos resíduos	Teor de umidade (%)	Poder calorífico (kJ/kg)				
		14/11/07	9/1/08	25/1/08	30/1/08	Média
Matéria Org. Putrescível	46,2	6.160	14.047	-----	-----	10.104
Papel/Papelão	52,3	10.015	16.232	10.680	-----	12.309
Plásticos mole	36,9	-----	9.049	14.532	11.543	11.708
Plásticos rígido	17,4	-----	33.619	40.156	39.086	37.620
Isopor	30,4	46.871	37.218	29.110	38.890	38.022
Madeira	37,4	-----	16.918	15.530	15.937	16.128
Materiais Têxteis	46,2	-----	19.903	21.516	15.403	18.941
Borracha e Couro	8,7	-----	17.613	40.507	-----	29.060
Côco	64,1	-----	14.161	13.542	9.788	12.497

Levando em consideração as umidades de cada fração, a qual é prejudicial ao tratamento térmico, pode-se concluir ainda que as frações “orgânica” e “papel/papelão” devem ser evitadas em processos térmicos, pois apresentam baixo potencial calorífico e elevada umidade. Por outro lado, estas duas frações são extremamente favoráveis ao potencial energético dos RSU em aterros sanitários.

O fluxo energético mais favorável para as frações dos RSU na RMR após uma prévia segregação seria: (I) direcionamento para reutilização ou reciclagem dos materiais economicamente viáveis; (II) direcionamento para aterros sanitários ou sistemas de compostagem das frações “orgânicas” e de “papel/papelão” não reciclável e (III) direcionamento das frações remanescentes para unidades de tratamento térmico, desde que o custo-benefício financeiro e ambiental desta alternativa esteja bem fundamentado. Desta forma, a escolha do tipo de tratamento e de destinação final dos RSU deverá ser função do poder calorífico x umidade x biodegradabilidade, além dos condicionantes ambientais, sociais e econômico-financeiros envolvidos em toda gestão dos RSU.

Potencial Bioquímico de Metano (BMP)

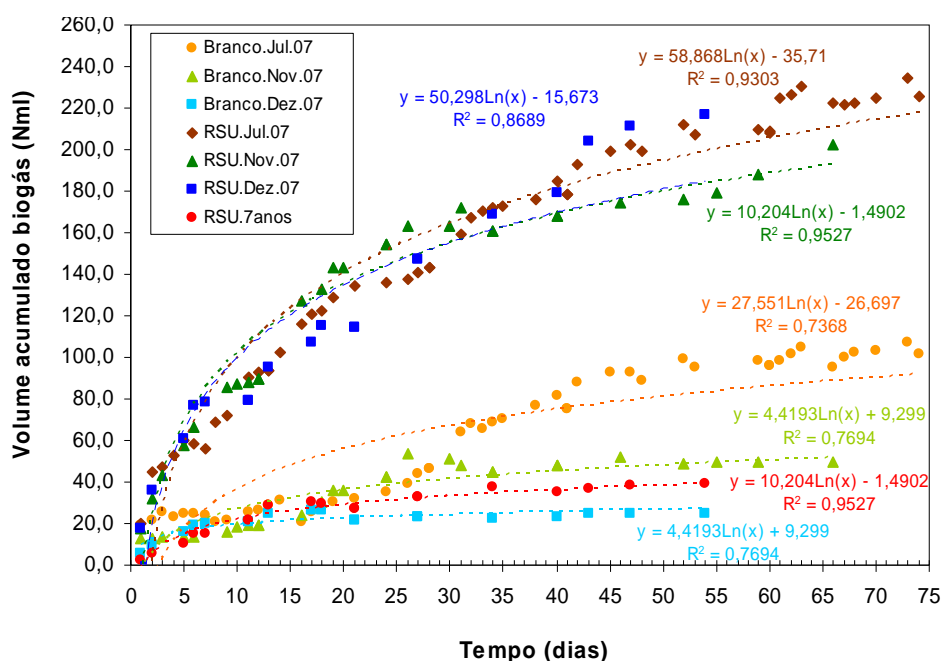
O teste do Potencial Bioquímico do Metano (BMP) é um ensaio para avaliar o potencial de geração do biogás dos resíduos em laboratório. A descrição completa da metodologia deste ensaio encontra-se em Alves (2008). A Figura 2 apresenta o dispositivo BMP e os reatores de bancada desenvolvidos pelo GRS/UFPE e a Figura 3 apresenta os resultados da primeira sequência de ensaios para avaliar a influência da idade dos resíduos na geração de biogás. Tais ensaios foram realizados com resíduos dispostos na célula experimental e coletados no

mês de julho, novembro e dezembro/2007. Observa-se nesta figura que o volume total de biogás produzido variou de 20 a 240 ml durante um período de 75 dias. Pode-se concluir que as maiores produções de biogás foram observadas quando existe a associação de resíduos com lodo de ETE e que a produção de biogás nas amostras de resíduos novos (julho, novembro e dezembro/07) foi superior a amostra de lixo antigo (7 anos). Os resultados do potencial de biogás variou de 112,7 a 172,4 Nml/g de resíduo (base seca) para o resíduo novo e a amostra com 7 anos apresentou potencial de 11,5 Nml/g. Tais resultados estão condizentes com a literatura técnica.

Figura 2. Ilustração do dispositivo BMP e reatores de bancada (direita) desenvolvidos pelo GRS/UFPE.



Figura 3. Produção acumulada de biogás na primeira sequência de ensaios BMP.

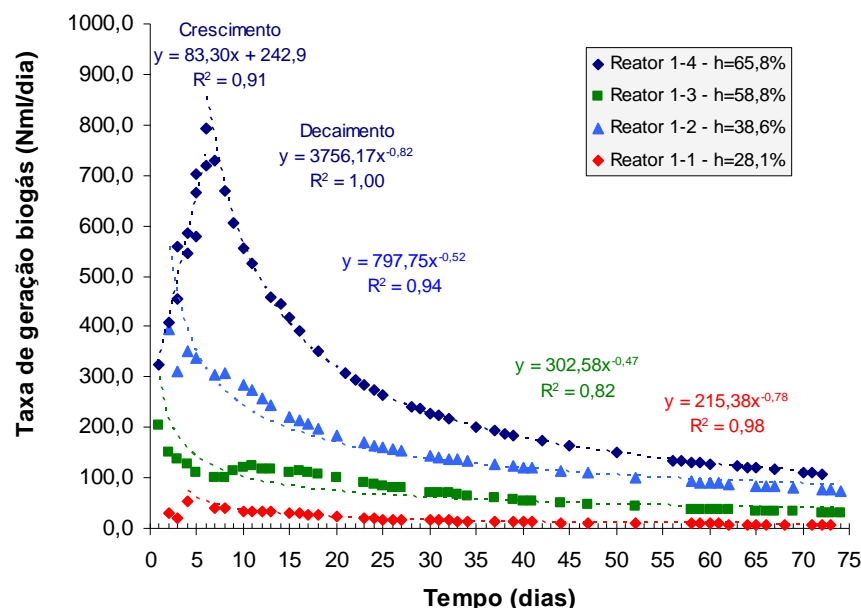


Outra metodologia desenvolvida para avaliação do potencial de biogás foi os reatores de bancada feitos em PVC com 1,50 litros de capacidade (ver Figura 2). Os mesmos são preenchidos com resíduos em diferentes condições de umidade, densidade, composição para analisar a influência destes parâmetros na geração do biogás.

A primeira sequência de ensaios foi realizada com o resíduo orgânico coletado na célula experimental com diferentes teores de umidade a fim de estudar a influência deste parâmetro na geração de gás. A Figura 4 apresenta as taxas de produção de gás em 04 reatores com diferentes teores de umidade dos resíduos. Observa-se que a produção de gás variou de 0 a 800 ml/dia e que o reator com umidade mais elevada (80%) foi o que apresentou a maior geração de gás. Por outro lado, o reator com resíduos mais secos (20%) foi o que produziu a menor quantidade de gás. Vale ressaltar que a massa seca de resíduos é idêntica em todos os reatores (cerca de 400 g). É importante destacar que o pico da geração de gás ocorreu antes de 10 dias de execução do ensaio.



Figura 4. Variação das taxas de geração de biogás nos reatores.



Produção de Biogás na Célula Experimental

O monitoramento do biogás consiste na avaliação semanal da composição, vazão, temperatura e pressão nos cinco drenos verticais existentes na célula e ao longo de diversos pontos na rede de coleta de biogás. Os principais equipamentos utilizados no monitoramento são: detector portátil Dragger X-am 7000 (concentração do biogás), termo-anemômetro portátil (velocidade – faixa de 0 a 20 m/s), manômetro digital (pressão - faixa de 0 – 10 kPa) e termômetro digital tipo termopar (faixa 0 – 500°C). A Figura 5 ilustra as medições de velocidade e concentração do biogás, respectivamente, na Célula Experimental.

Figura 5. Medição da velocidade na tubulação de coleta do biogás e da concentração no dreno.



Os resultados médios mensais da composição e vazão de biogás obtidos até o mês de março/09 estão apresentados nas Figuras 6 e 7, respectivamente. Como base nos dados apresentados, observa-se que o biogás inicialmente estava com baixa concentração de CH_4 , entretanto após o fechamento da célula as condições anaeróbicas se estabeleceram de forma rápida (queda na presença de O_2), indicando que os resíduos estão na fase metanogênica de degradação dos resíduos com concentrações médias de CH_4 e CO_2 em torno de 55% e 40%, respectivamente. A produção de biogás da célula está muito superior ao previsto por modelagens tradicionais de degradação dos resíduos baseadas em cinética de primeira ordem, entretanto observa-se uma queda significativa da vazão com o tempo. Tal fato indica que a decomposição dos resíduos para as condições climáticas e operacionais da Célula Experimental na RMR é muito mais rápida que o previsto na literatura técnica internacional.

Figura 6. Monitoramento da concentração do biogás na Célula Experimental.

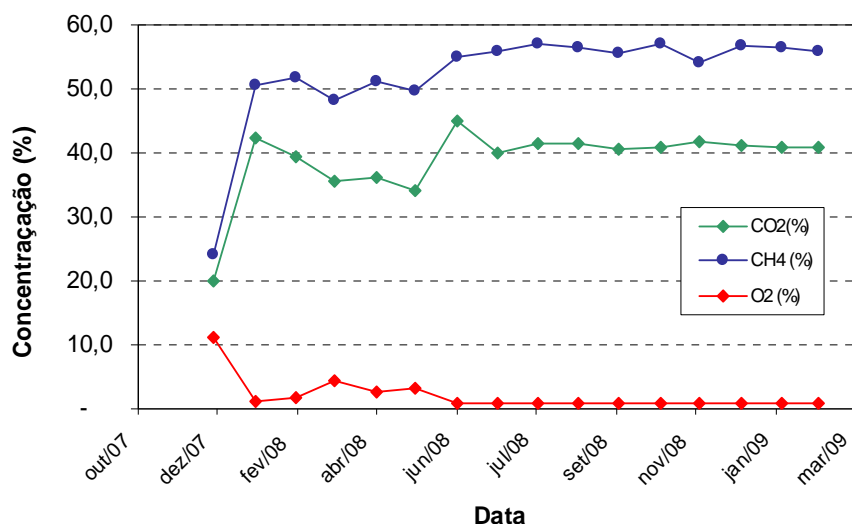
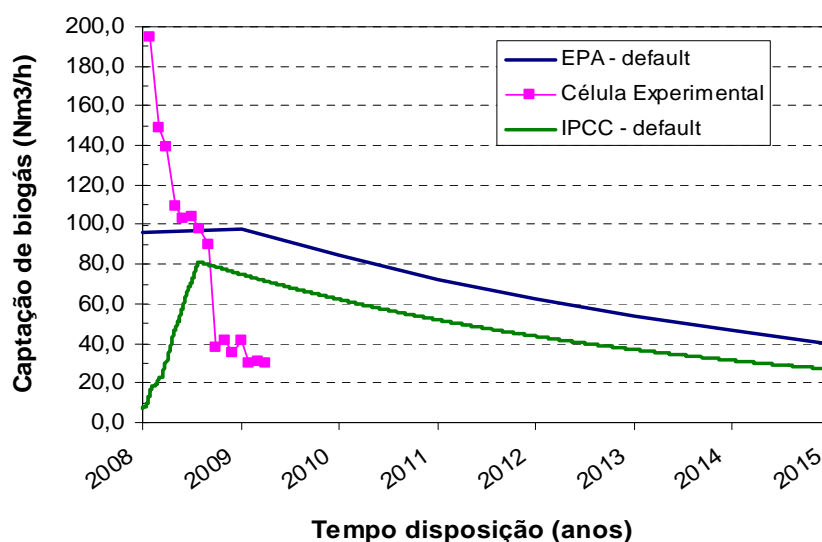


Figura 7. Evolução da captação do biogás na Célula Experimental e previsão teórica IPCC e EPA.



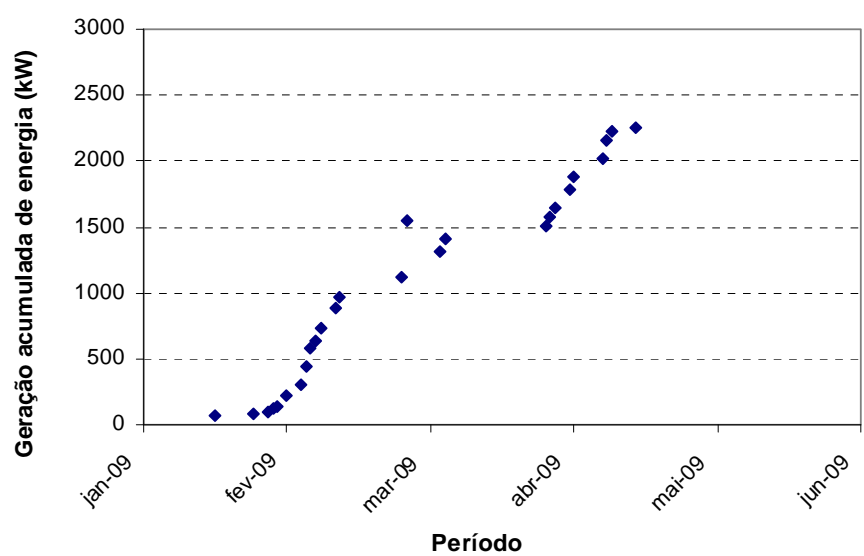
Produção de Energia na Usina Piloto

Os principais equipamentos da usina piloto de energia do Projeto da Muribeca são: (I) grupo-gerador de 20 kVA, (II) compressor radial (extrator) de gás, (III) inversor de frequência para o compressor; (IV) filtro de H_2S à montante do gerador, (V) trocador de calor; (VI) válvulas de controle e regulação de pressão e (VII) dispositivos de monitoramento da pressão, concentração e temperatura do biogás instalados em diversos pontos da rede de coleta.

A operação da usina piloto de energia é realizada durante cerca de 8 horas por dia, exceto nos dias onde são realizados testes/instrumentação no sistema ou monitoramento da Célula. A produção acumulada de energia elétrica desde o início da operação até abril/09 é de 2.341 kW, conforme ilustrado na Figura 8.



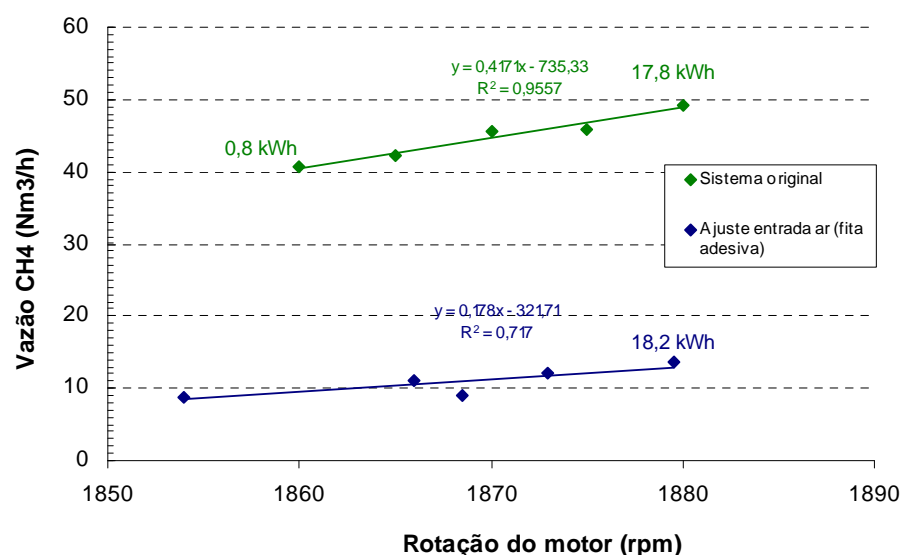
Figura 8. Vazão de biogás requerida para funcionamento do motor com e sem regulagem de ar.



Nos primeiros meses de operação da usina piloto estão sendo realizados alguns ajustes mecânicos no motor para otimizar a mistura ar/combustível do gerador e, conseqüentemente, melhorar a eficiência elétrica do sistema. Desta forma, foram instaladas duas válvulas adicionais, sendo uma borboleta na entrada do filtro para regular a entrada de ar e uma válvula agulha para um ajuste fino de regulagem de vazão de biogás do gerador.

Os testes iniciais de eficiência elétrica do gerador na formatação original do fabricante permitiram obter valores da ordem de 3,5% de eficiência com vazão requerida de CH_4 superior a $40 \text{ Nm}^3/\text{h}$. Após os ajustes de regulagem da mistura ar/combustível a eficiência elétrica do gerador aumentou para 13,0% e a vazão requerida para operar o sistema decresceu para $10 \text{ Nm}^3/\text{h}$, conforme ilustrado na Figura 9. Observa-se que o consumo de gás reduziu sensivelmente com esta melhoria implantada no sistema. Novos testes estão sendo realizados para verificar novas melhorias na eficiência do sistema. Os aspectos econômico-financeiros da produção de energia também estão sendo avaliados neste momento.

Figura 9. Vazão de CH_4 requerida pelo gerador em função da produção de energia (Maciel, 2009).





CONCLUSÕES

A pesquisa que vem sendo realizada na Célula Experimental do Aterro Controlado da Muribeca/PE permitiu desenvolver novas metodologias para caracterização físico-química dos resíduos e para avaliação do potencial de geração de biogás, as quais contribuíram para a definição de parâmetros locais da degradação dos resíduos. Tais parâmetros são fundamentais para garantir previsões mais realistas da produção de biogás e, consequentemente, energia em aterros de RSU no Brasil. Vale ressaltar que os projetos de recuperação de biogás já implantados em várias regiões do Brasil apresentaram falhas nos critérios de previsão da geração de biogás uma vez que foram baseados parâmetros internacionais que não se aplicam bem a realidade do Brasil.

Os resultados obtidos na pesquisa indicam que a geração de biogás ocorre de forma mais acelerada e em maior quantidade que os dados existentes na literatura internacional. Este fato deve ser considerado para estudos de viabilidade de implantação de projetos de geração de energia a partir do biogás de aterros sanitários. A geração de energia elétrica deve sempre ser analisada em projetos de aproveitamento do biogás considerando os fatores locais de disponibilidade de energia na região, além dos condicionantes econômico-financeiros e sócio-ambientais.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer o financiamento desta pesquisa por parte da Companhia Hidroelétrica do São Francisco – CHESF e o suporte operacional da Prefeitura de Recife, por intermédio da Empresa de Limpeza Urbana de Recife – EMLURB.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, I. R. F.S. Análise Experimental do Potencial de Geração de Biogás em Resíduos Sólidos Urbanos. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil/UFPE. 2008.
2. MACIEL, F.J. Avaliação da degradação dos resíduos e produção de energia em uma Célula Experimental no Aterro da Muribeca/PE. Tese de doutoramento (em andamento). Dept. Eng. Civil/UFPE. 2009.
3. MACIEL, F.J e JUCÁ, F.J.T. Projeto e Implantação de uma Célula Piloto de RSU para Recuperação do Biogás no Aterro da Muribeca/PE. VI Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental – REGEO'2007. 2007.
4. MACIEL, F.J, MARIANO, M.O.H, FUCALE, S.P, JUCÁ, F.J.T. & BRITO, A.R. Plano de Monitoramento da Célula Experimental de RSU no Aterro da Muribeca/PE. VI Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental – REGEO'2007. 2007.
5. MARIANO, M.O.H, MACIEL, F.J, FUCALE, S.P, JUCÁ, F.J.T. & BRITO, A.R. Estudo da Composição dos RSU do Projeto Piloto para Recuperação do Biogás no Aterro da Muribeca/PE. VI Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental – REGEO'2007. 2007.