

10

Conclusões e sugestões para trabalhos futuros

10.1

Conclusões

O presente trabalho buscou determinar as propriedades físico-químicas e o potencial de produção de biogás do perfil de disposição de RSU, a partir as amostras de diferentes idades e profundidades.

Para a obtenção das propriedades físico-químicas, inicialmente foi identificado os processos amplamente empregados para tal, pois, embora existam inúmeros trabalhos publicados e diversos processos empregados para esse fim, de maneira geral, não existem normas metodológicas específicas para a coleta de RSU em diferentes profundidades e idades de disposição em aterros nem para a determinação de características físico-químicas e biológicas dessas amostras.

Para o processo de coleta dos RSU, foram desenvolvidas metodologias tanto para a coleta quanto para a amostragem num perfil de disposição de resíduos no AMJG, em materiais antigos. Essas baseadas nas experiências de diversos autores que coletaram resíduos novos. As adaptações realizadas tanto para coleta, amostragem e determinações de propriedades no campo como também para os processos de separação, preparação e determinações das propriedades em laboratório mostraram-se adequadas para as seguintes determinações: temperatura, pH, teor de umidade, teor de matéria orgânica, teor de sólidos voláteis, teor de lignina, composição gravimétrica, análise de distribuição dos grãos e determinação do potencial bioquímico de metano.

O peso específico não foi determinado em consequência da forma de operação da extração do material pelo amostrador da perfuratriz AF-130, pois após a desagregação do RSU o mesmo é compactado dentro do amostrado para sua extração. Essa perfuratriz foi utilizada nesse estudo por permitir alcançar maiores profundidades e, portanto, permitir a retirada de amostras de RSU num perfil de sondagem.

O desenvolvimento de um método para determinação das idades dos resíduos obtidos num perfil de sondagem fundamentou-se no uso de plantas topográficas de diferentes anos de funcionamento do aterro em construir um modelo numérico do terreno. O uso dessa ferramenta foi necessário pela falta de informações a respeito do tempo em que os RSU coletados estavam ali dispostos. A metodologia demonstrou atender a avaliação para resíduos em profundidades de até 15 m e com até 4 anos de deposição. Para a aferição em resíduos mais antigos, sugere-se a adoção de modelos de recalque.

Conforme a metodologia desenvolvida para a determinação da idade dos resíduos coletados, das 21 amostras coletadas, apenas 1 apresentou-se com menor tempo de deposição, sendo essa de menos de 1 ano, outras três com 2 anos e mais outras 3 com 3 anos. Para a maioria das amostras obteve-se a idade de mais de 8 anos.

As propriedades medidas *in situ*, a temperatura e o pH, apresentaram as características em que o processo de degradação no aterro, da matéria orgânica presente no RSU, está ocorrendo. A temperatura variou-se na faixa dos microrganismos mesofílicos e termofílicos, com predominância dos últimos, com variação entre 29 a 62 °C. Faixa de temperatura adequada dos microrganismos metanogênicos.

A característica de pH do meio indicou diferentes estágios da metanogênese para diferentes idades dos RSU. Esse parâmetro indicou que o material mais novo, com pH igual a 7 encontra-se na fase de produção acelerada, enquanto os demais estão na fase de produção desacelerada, com pH superior a 7. Foi verificado a existência de uma correlação linear, considerada forte com R^2 de 0,64, entre o pH e a temperatura. Não havendo outra correlação entre o pH e as demais propriedades analisadas.

Os teores de umidade apresentaram grande variação, de 10 a 115 %, entre os diferentes pontos amostrados. Esses teores de umidade são, em geral, suficientes e superiores a faixa ótima para a degradação biológica, mas não apresentaram correlações com nenhum outro parâmetro analisado nesse estudo.

A composição gravimétrica mostrou que a maior porção dos RSU foi à fração de agregado fino, composta por todos os constituintes com dimensões inferiores a 2,5 cm. A fração orgânica grosseira (diâmetro > 2,5 cm) foi detectada

apenas no furo 128C, em todas as profundidades analisadas. Esse dado é bastante coerente para a amostra de até 5 m, por se tratar de um material mais novo.

A análise de distribuição dos grãos revelou que a maioria dos RSU foram classificados como pedregulho, não apresentando grandes alterações com a idade de disposição dos resíduos, não tendo sido detectadas diferenças significativas na distribuição de grãos e nem na composição dos RSU amostrados. Novas pesquisas devem ser conduzidas a fim de avaliar os tamanhos das partículas durante a decomposição e a transformação dos RSU, ao longo do processo de degradação. Essas poderiam avaliar não somente a massa como um todo, mas também a granulometria por frações dos constituintes presentes (exemplo: papel, plástico, vidro, e outros).

O valor de pH da fração orgânica dos diferentes pontos indicou que um pouco mais de um ano após a disposição do material em ambiente anaeróbico já ocorreu a mudança do caráter ácido do meio para um básico, indicando que após esse período, o material já atingiu a fase de produção desacelerada de metano e, por consequência, a taxa de produção de biogás também já está diminuindo.

Os teores de MO e SV são parâmetros que estão relacionados aos materiais que sofreram transformação. Nessa pesquisa, esses teores encontram-se entre 4 e 45 % e nenhuma relação linear com a profundidade foi observada.

O teor de lignina, que indica o percentual do material orgânico de difícil degradação, apresentou uma correlação de 0,8 com a quantidade de SV, o que indica não haver uma diferença grande na relação SV/LG nas amostras. Esse comportamento sugere que a matéria orgânica de fácil degradação na maioria das amostras analisadas, que possuem mais de 4 anos, já haviam sido degradadas em sua maior parte.

De acordo com o ensaio de produção de biogás em condições de laboratório, o material mais novo, com idade até um ano, com maior quantidade de fração de massa orgânica em relação aos demais, foi o que apresentou maior potencial e produção de biogás enquanto os demais, com fração orgânica menor, ainda que com teores de SV semelhantes, resultaram em menor potencial bioquímico para produção de biogás.

Há uma tendência à diminuição do volume de biogás produzido e do potencial bioquímico para o perfil das amostras, de acordo com as maiores profundidades, acentuada a partir dos 10 metros, indicando também uma

tendência de redução da produção de biogás, como a observada pela redução de 78 % de gases do material de quase 1 ano para outro de 3 anos.

Os resultados experimentais, para alguns pontos, não foram muito bem ajustados à equação de von Bertalanffy, resultando em valores do parâmetro L_0 superiores aos experimentais. Isso sugere que ajustes de segunda ordem seria mais eficaz para esses materiais. Mas, modelos mais complexos exigem um maior número de informações/variáveis nas simulações.

Ainda que os RSU apresentem alta heterogeneidade e poucas correlações ao perfil e a idade tenham sido verificadas, correlações entre as propriedades físico-química foram avaliadas. Portanto, o potencial de produção de biogás apresenta uma correlação não-linear com a temperatura. Sendo esse parâmetro de fácil e rápida determinação, poderia ser utilizado para indicar fase de decomposição do material. Contudo, como estudos sobre temperatura de resíduos em aterros são muito escassos e a maioria das amostras coletadas apresentava idade acima de 4 anos, quando o material já deveria estar na fase desacelerada de produção de metano, estudos futuros sobre a relação entre esses parâmetros são necessários.

Mostrou-se que uma correlação estatística forte não-linear, Spearman, foi obtida entre o teor de matéria orgânica e/ou sólidos voláteis com a produção de biogás para materiais mais recentes, comprovando tal comportamento.

Porém, faz-se necessário um maior número de dados do ensaio GB_{21} para estabelecer melhores correlações, pois um número muito pequeno de dados, para um material altamente heterogêneo, onde existem muitos parâmetros que interferem e influenciam a geração de gás, quaisquer uns destes outros fatores podem favorecer um ponto a sair de um intervalo de confiança e, portanto, diminuir o valor de correlação.

A difícil obtenção de correlações entre as propriedades físicas de RSU com a idade e profundidade pode ser devido à principalmente ao material. Como as interações que ocorrem e promovem a decomposição do material orgânico em um ambiente como aterro sanitário é muito complexo e, normalmente, os estudos nesses locais tendem a simplificar as condições do ambiente a fim de entender o comportamento, algumas reflexões devem ser analisadas. Por exemplo, a fração orgânica sofre modificação do tamanho das partículas e, as de menor dimensão podem ser transportadas juntamente com o lixiviado. Também há a modificação do tamanho pelo tipo de material, como é o caso das madeiras e dos papéis, visto

que, em alguns pontos, o aumento do teor de MO pode ser explicado por algum destes fatores.

Com relação ao uso dos parâmetros para o prognóstico de gerações de gases, verificou-se que os tempos de decaimento dos resíduos foram inferiores aos encontrados na literatura e aos recomendados pelos órgãos EPA e IPCC. Ainda que valores inferiores possam ser aceitos para materiais antigos, o material novo também apresentou valores muito discrepantes. Mas, pode ser sugerido, tanto pelos dados obtidos nessa tese quanto os por Firmo (2013), a existência de uma relação de escala entre as diferentes formas de ensaio e medição, tornando-se necessário a identificação desse fator de escala para que possa ser utilizados tanto o $t_{1/2}$ quanto o k nos modelos de previsão de biogás. Essa relação entre os tipos de ensaio/medição não foram encontrados na literatura, que resultará num erro ao utilizar o parâmetro cinético.

O resultado do prognóstico de gerações de metano foi inferior ao gerado pelo uso dos parâmetros *default* ao adotar o material mais novo como representativo de toda a massa do AMJG ao modelo EPA, já adotando a mesma consideração anterior ao modelo IPCC os valores estimados foram próximos. Mas, pelas hipóteses assumidas nesse estudo, ao atribuir valores de k variáveis no tempo, sugeri que essas estimativas podem ser muito menores. Isso, porque, ao assumir k representativo do tipo de material, as emissões obtidas apresentaram pequena diminuição pós pico, sendo que esse máximo foi obtido pelo uso do parâmetro *default* de cada um dos modelos. Se estivessem sido encontrados valores de k para resíduos mais antigos, possivelmente o pico seria menor. Além disso, ao assumir k representativo do ano de degradação do material, as estimativas foram muito menores, principalmente em relação ao pico, pois o comportamento posterior é influenciado pelos parâmetros *default*, isso por ter sido considerado os k apenas para os 4 primeiros anos. O que sugere que as estimativas poderiam ser muito menores.

O uso de retroanálise para estabelecer alguns parâmetros do modelo, em especial para o modelo IPCC, que considera o DOC como sendo um parâmetro influenciado pela quantidade de carbono e, este é alterado pelo processo de degradação, resultou em valores muito menores tanto aos apresentados como *default* como o calculado com base na massa de resíduo e a quantidade de DOC; apresentado no relatório do CDM.

10.2 Sugestões

Para futuras pesquisas sugere-se algumas investigações:

- Para identificação das idades de resíduos mais antigos, sugere-se a adoção de modelos de recalque a fim de identificar qual a profundidade que um RSU de determinada idade estará localizado;

- Determinar do peso específico *in situ*;

- Realizar maior número de medições de temperatura *in situ* em perfil de sondagem mais profundo. Tanto para comparar a tendência de estabilização da temperatura com a profundidade quanto verificar a correlação obtida entre a temperatura e a produção de biogás;

- Realizar maior número de ensaios GB₂₁ para os demais pontos amostrados e comparar o potencial de geração de biogás com demais parâmetros;

- Realizar ensaios de produção de biogás como as temperaturas observadas em campo. Avaliando a produção de biogás desse material sob temperaturas apresentadas *in loco*;

- Usar de conhecimentos geoestatística poderia adicionar informações para correlacionar as propriedades físico-químicas;

- Usar modelos de simulação de degradação e diminuição do tamanho das partículas acoplado com modelos de transporte/arraste dessas;

- Usar de modelos de degradação mais robustos para avaliar as inter-relações entre as propriedades para melhor compreensão da dinâmica existente dentro de um aterro de disposição de RSU;

- Realizar medições em campo da produção de biogás auxiliando, conjuntamente com a retroanálise, o prognóstico da quantidade de biogás que esse aterro poderá produzido;

- Por último, como um dos objetivos não foi concluído, sugere-se realizar ensaios de resistência em RSU, comparando com resultados de ensaios de produção de biogás, esse no intuito de fornecer parâmetros para o modelo idealizado pelo prof. Eduardo Dell'Avanzi (UFPR).