



Biodigesteur Anaérobie : Proposition de Configuration Compacte Utilisant des Eaux Grises et du Fumier de Mouton

Antonio Presciliano de Saboia Neto, Luana Viana Costa E Silva

► To cite this version:

Antonio Presciliano de Saboia Neto, Luana Viana Costa E Silva. Biodigesteur Anaérobie : Proposition de Configuration Compacte Utilisant des Eaux Grises et du Fumier de Mouton. 2022. halshs-03526555

HAL Id: halshs-03526555

<https://shs.hal.science/halshs-03526555>

Preprint submitted on 14 Jan 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

SABOIA, Antonio Presciliano Neto. Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus Crateús, Brasil.
antoniosaboia@alu.ufc.br

email correspondente: SILVA, Luana Viana Costa. Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus Crateús, Brasil.
luanaviana@crateus.ufc.br

Biodigestor Anaeróbio: Proposta de Configuração Compacta Com Uso de Águas Cinzas e Esterco Ovino

RESUMO

Aproveitamento energético de resíduos sólidos orgânicos (RSO) através de biogás é uma tecnologia conhecida ao utilizar esterco bovino e água de abastecimento. Contudo, o contexto de escassez hídrica da região dos Sertões de Crateús e as limitações à criação bovina, demandam adaptações. O objetivo do presente estudo foi configurar um biodigestor de pequeno porte para viabilizar o estudo de águas cinzas e de inóculo ovino no tratamento de sobras de arroz e feijão. Para o sistema R1 (sistema controle), o esterco foi diluído em água de descarte de destilador, triturado em liquidificador industrial e deixado em temperatura ambiente. Já para o sistema R2, a água usada foi a do enxágue de utensílios de cozinha. Após 25 dias foi realizada a primeira batelada, tempo adequado, segundo monitoramento, para manter o pH da mistura inoculante em torno de 7,2 e não inibir a metanogênese. Cada alimentação possuía 1 L de água e 500g de resíduo (150g de inóculo e 350g de RSO, dividido igualmente em arroz e feijão, pois, de acordo com a literatura, dentre os resíduos alimentares analisados, são os que apresentam maior eficiência na produção de biogás). Em virtude dos microrganismos não se instalarem logo após a introdução de resíduos orgânicos alimentares no reator, o uso de inóculo ovino foi imprescindível para colonização dos sistemas, visto que reduziu o tempo de bioestabilização da matéria orgânica. Dentre os parâmetros básicos de monitoramento dos sistemas, pH, temperatura, carbono orgânico total e Demanda Química de Oxigênio foram identificados como fundamentais. Os resultados das análises das amostras do afluente, devido ao alto teor de matéria orgânica, estouraram, mesmo com sucessivas diluições, impossibilitando resultados preliminares dos parâmetros. Espera-se que, com o andamento do projeto, haja a consolidação desta configuração de biodigestor, favorecendo a gestão adequada de RSO e de águas em zonas semiáridas.

Palavras-chaves: Águas de reuso, Biodigestor, Biogás.

SABOIA, Antonio Presciliano Neto. Federal University of Ceará (UFC), Campus Crateús, Brazil.
antoniosaboia@alu.ufc.br

SILVA, Luana Viana Costa. Federal University of Ceará (UFC), Campus Crateús, Brazil.
luanaviana@crateus.ufc.br

Anaerobic Biodigester: Proposed Compact Configuration Using Gray Water and Sheep Manure

ABSTRACT

Energy use of organic solid waste (RSO) through biogas is a known technology for using cattle manure and water supply. However, the context of water scarcity in the Sertões de Crateús region and the limitations to cattle raising demand adaptations. The aim of the present study was to configure a small-scale biodigester to enable the study of gray water and sheep inoculum in the treatment of leftover rice and beans. For the R1 system (control system), the manure was diluted in distiller waste water, ground in an industrial blender and left at room temperature. As for the R2 system, the water used was for rinsing kitchen utensils. After 25 days, the first batch was carried out, adequate time, second monitoring, to maintain the pH of the inoculant mixture around 7.2 and not inhibit methanogenesis. Each feed had 1 L of water and 500g of waste (150g of inoculum and 350g of RSO, divided equally into rice and beans, as, according to the literature, among the food waste analyzed, they are the most efficient in the production of biogas). Because the microorganisms do not settle right after the introduction of organic food waste in the reactor, the use of sheep inoculum was essential for the colonization of the systems, as it reduced the time for biostabilization of organic matter. Among the basic parameters for monitoring systems, pH, temperature, total organic carbon and Chemical Oxygen Demand were identified as fundamental. The results of the analysis of the affluent samples, due to the high content of organic matter, exploded, even with successive dilutions, making preliminary results of the parameters impossible. It is expected that, as the project progresses, this biodigester configuration will be consolidated, favoring the proper management of RSO and water in semi-arid areas.

Key-words: Reuse water, Biodigester, Biogas.

SABOIA, Antonio Presciliano Neto. Université fédérale du Ceará (UFC), Campus Crateús, Brésil.
antoniosaboia@alu.ufc.br

SILVA, Luana Viana Costa. Université fédérale du Ceará (UFC), Campus Crateús, Brésil.
luanaviana@crateus.ufc.br

Biodigesteur Anaérobie : Proposition de Configuration Compacte Utilisant des Eaux Grises et du Fumier de Mouton

ABSTRAIT

L'utilisation d'énergie des déchets organiques solides (RSO) par le biais du biogaz est une technologie connue pour l'utilisation du fumier de bétail et l'approvisionnement en eau. Cependant, le contexte de pénurie d'eau dans la région de Sertões de Crateús et les limitations de l'élevage de bétail exigent des adaptations. Le but de la présente étude était de configurer un biodigesteur à petite échelle pour permettre l'étude des eaux grises et de l'inoculum de mouton dans le traitement des restes de riz et de haricots. Pour le système R1 (système de contrôle), le fumier a été dilué dans les eaux usées du distillateur, broyé dans un mélangeur industriel et laissé à température ambiante. Quant au système R2, l'eau utilisée était destinée au rinçage des ustensiles de cuisine. Après 25 jours, le premier lot a été réalisé, temps adéquat, deuxième suivi, pour maintenir le pH du mélange inoculant autour de 7,2 et ne pas inhiber la méthanogenèse. Chaque aliment contenait 1 L d'eau et 500g de déchets (150g d'inoculum et 350g de RSO, répartis à parts égales en riz et haricots, car, selon la littérature, parmi les déchets alimentaires analysés, ils sont les plus efficaces dans la production de biogaz). Parce que les micro-organismes ne se déposent pas juste après l'introduction des déchets alimentaires organiques dans le réacteur, l'utilisation d'inoculum de mouton était essentielle pour la colonisation des systèmes, car elle réduisait le temps de biostabilisation de la matière organique. Parmi les paramètres de base pour les systèmes de surveillance, le pH, la température, le carbone organique total et la demande chimique en oxygène ont été identifiés comme fondamentaux. Les résultats de l'analyse des échantillons aisés, en raison de la forte teneur en matière organique, ont explosé, même avec des dilutions successives, rendant impossibles les résultats préliminaires des paramètres. Il est prévu qu'au fur et à mesure de l'avancement du projet, cette

configuration de biodigester se consolide, favorisant une bonne gestion des RSO et de l'eau dans les zones semi-arides.

Mots clés : Réutiliser l'eau, Biodigester, Biogaz.

1 INTRODUCTION

L'utilisation énergétique des déchets organiques solides (RSO), à travers la génération de biogaz, est une technologie qui est remarquablement consolidée par l'utilisation du fumier de bétail comme inoculum et de l'eau pour l'approvisionnement. Cependant, l'étude scientifique des adaptations possibles à cette technologie est essentielle pour permettre son utilisation dans différentes réalités mondiales avec la disponibilité de l'eau et différents types d'inoculum et de substrats.

Considérant que les déchets organiques correspondent à plus de 50% du total des déchets urbains (USW) générés au Brésil, selon la version préliminaire du Plan National des Déchets Solides (PNRS, 2012), les réacteurs anaérobies sont perçus comme une possibilité de technologie de triple solution.

L'utilisation de réacteurs anaérobies pour minimiser le problème des déchets organiques solides (SRO) a déjà montré de bons résultats dans la recherche scientifique et dans la pratique, non seulement dans la réduction du volume de déchets mais aussi dans la consommation d'énergie et dans la production de biofertilisants à usage agricole .

S'il n'est pas traité ou éliminé correctement, le RSO peut, en raison de sa haute biodisponibilité des nutriments, provoquer une contamination de l'eau et du sol. Sa décomposition, si dans des endroits insuffisamment gérés, se produit par un processus anaérobie, qui contribue à l'émission de méthane, un gaz à effet de serre et très dangereux en raison de son potentiel explosif. La biodégradation des matériaux non séparés produit un liquide qui transporte des substances dangereuses telles que les métaux lourds.

Le contexte de pénurie d'eau et les limitations de l'élevage de bétail dans les régions semi-arides, comme Sertões de Crateús, exigent des adaptations. Ainsi, l'un des changements technologiques dans ce travail a été le remplacement de l'eau potable par l'eau grise, comme un moyen de rendre son application dans la région semi-aride possible et efficace. Instinctivement, une personne qui vit dans la rareté des ressources en

eau n'affecte pas ce bien limité à des usages autres que essentiels, et en ce sens, l'utilisation des eaux grises est avantageuse.

À son tour, l'utilisation de fumier ovin au lieu de fumier bovin, utilisé à l'origine dans la phase initiale d'adaptation des micro-organismes à l'environnement, a le potentiel de rendre l'application accessible, puisque ce type d'élevage prévaut dans la région, en raison de l'adaptabilité de l'espèce au climat et à la végétation.

L'utilisation d'eau et d'inoculum différents conduit à la nécessité d'analyser et de comparer les résultats pour évaluer la faisabilité et l'efficacité de chaque système proposé, afin de prédire le rapport coût-bénéfice. Étant l'un des pionniers dans l'utilisation des eaux grises dans le traitement des déchets organiques, cette recherche entend transformer le biodigesteur en un instrument plus courant pour les réalités urbaines semi-arides, en plus d'en faire une alternative pour l'utilisation de l'énergie à partir des restes alimentaires.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

Afin d'atteindre l'objectif de cette recherche, ils ont été fabriqués et mis en service (deux systèmes indépendants), comme le montre la Figure 1.

Figure 1 - Configuration des systèmes d'exploitation



Source: auteur

Chaque système avait les composants suivants, dans cet ordre :

- Biodigesteur de capacité brute de 20L, construit à partir d'un gallon d'eau et peint avec de la peinture noire mate, afin de maintenir la stabilité de la température interne;
- Filtre H₂S (tube PVC 50 ou 40 cm rempli de laine d'acier et bouché avec CAP);
- Filtre à CO₂ (bouteille en verre avec solution filtrante composée de H₂SO₄ et NaCl, dans la proportion de 25g de NaCl et d'acide sulfurique, jusqu'à atteindre un pH de 2,0);
- chambre à air, pour le stockage temporaire du biogaz jusqu'à sa combustion;
- compteur de gaz, après les deux filtres;
- Bec Bunsen à l'extrémité de chaque système, pour simuler la combustion en usage domestique.

Des vannes ont été installées avant l'entrée de chaque composant du système, pour faciliter la maintenance préventive et corrective. Des filtres ont été introduits avant le compteur de gaz afin d'éliminer les gaz contaminants et de mesurer le biogaz le plus pur dans le méthane. Le but était, lorsqu'une production importante de biogaz a été détectée, en remplissant la chambre, la vanne d'entrée de biogaz a été fermée et la sortie de la chambre a été ouverte, pour brûler dans le bec Bunsen.

Le fumier utilisé pour l'inoculation était d'origine ovine, collecté dans une petite ferme près du siège de la municipalité de Crateús/Ceará/Brésil. L'endroit ne comptait que 30 animaux, nourris avec la ration et la composante végétale de la caatinga, précisément en raison des limitations de la région semi-aride.

Dans le système R1 (système de contrôle), le fumier était dilué dans les eaux usées du distillateur, broyé dans un mélangeur industriel et laissé à température ambiante. Suivant le même procédé, dans le système R2, l'eau utilisée était utilisée pour rincer le détergent des ustensiles de cuisine. Toujours avant l'alimentation, le pH a été analysé, car ce paramètre est crucial pour surveiller la stabilité des systèmes et la qualité du biogaz et du biofertilisant, ainsi que la température des échantillons et de l'environnement. Après 25 jours, le premier lot a été réalisé, car, selon Rempel (2014), c'est le moment approprié pour maintenir le pH autour de 7,2 et ne pas inhiber la méthanogenèse, une étape de biodigestion anaérobie avec la production de méthane la plus élevée.

L'introduction des Déchets Organiques Solides (RSO) s'est faite progressivement dans le temps et avec une masse proportionnellement connue, commençant dès que la production de gaz post-inoculation a été

détectée. Les RSO utilisés étaient des restes des cuves du restaurant universitaire de l'Université fédérale du Ceará - UFC, campus de Crateús, plus précisément du riz et des haricots, qui, selon Kretzer et al, (2016), parmi les RSO qu'ils ont analysés, sont ceux avec la plus grande efficacité dans la production de biogaz. Chaque aliment contenait 1 L d'eau et 500 g de déchets (150 g d'inoculum et 350 g de RSO, riz et haricots en proportion égale en masse), effectué deux fois par semaine à alternance, sauf le week-end.

La composition de l'alimentation du système, appelée affluent, a été analysée au moyen des teneurs en Carbone Organique Total (COT), par la méthode du moufle, et de la Demande Chimique en Oxygène (DCO), par la méthode de Winkler, toutes deux en triple, effectué au démarrage du système et à l'élimination des biofertilisants, afin d'avoir un premier paramètre de la viabilité ou non du traitement.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'analyse de la température et du pH des eaux grises était indispensable pour que le potentiel de viabilité de son utilisation soit au préalable attesté, ainsi que la mesure de ces paramètres de l'affluent initial, comme le montre le Tableau 1.

Tableau 1 - Températures et pH moyens des eaux initiales et des affluents

SYSTÈME	ANALYSER	
	pH	T °C
EAU R1	6,59	30,7
EAU R2	6,62	28,3
R1 COURANT	7,39	25,5
R2 COURANT	7,63	27,8

Source: auteur

Les résultats du pH et de la température de l'influent sont d'excellents indicateurs de la stabilisation du système. Selon Reis (2012), un pH autour de 6,5 à 7,5 est considéré comme optimal pour la croissance des micro-organismes méthanogènes, étant donné qu'ils sont considérés comme sensibles au pH. Pour la température, les niveaux optimaux liés à la digestion anaérobie se situent entre 30 et 35°C.

En plus de ce suivi, l'apparition ou non de bulles dans le filtre à CO₂ et la situation générale des systèmes ont été vérifiées simultanément. Il a été constaté qu'après 15 jours, il y avait formation de petites bulles dans le filtre à CO₂.

Les analyses de la température et du pH de l'effluent ont également été effectuées, afin de vérifier les caractéristiques du biofertilisant retiré, comme le montre le Tableau 2.

Tableau 2 - Température et pH moyens des effluents

SYSTÈME	ANALYSER	
	pH	T °C
EFFLUENTES R1	7,34	29,2
EFFLUENTES R2	7,38	29,3

Source : auteur

L'analyse de ces résultats montre qu'après 25 jours, le pH est toujours dans la plage optimale pour la stabilisation de la matière organique, sans dégradation du pH, ce qui pourrait provoquer un déséquilibre dans les systèmes.

L'analyse de la demande chimique en oxygène (DCO) a été réalisée afin de soutenir l'évaluation de l'efficacité de l'élimination de la matière organique des systèmes, comme le montre le Tableau 3.

Tableau 3 - Résultats de la DBO des effluents

SYSTÈME	DBO MOYEN
EFFLUENTES R1	4.628,47 mg/L
EFFLUENTES R2	3.827,73 mg/L

Source : auteur

Ces moyennes peuvent indiquer qu'il y a encore une grande quantité de matière organique dans le système. Cependant, comme les échantillons de DBO influents ont éclaté, il n'a pas été possible de calculer le pourcentage de DBO retiré des systèmes, ce qui renforce l'importance de la continuité du projet.

La détermination de la teneur en matière organique, par l'analyse COT, a donné les résultats suivants pour chaque système et échantillon, présentés dans le tableau 4.

Tableau 4 - Résultats du COT des affluents

R1					R2				
Masse totale de l'échantillon sec fourni = 9,0686 g					Masse totale de l'échantillon sec fourni = 4,2359 g				
Creuset	Pâte à creuset	Masse de l'échantill	Méfinir la masse	MO (%)	Creuset	Pâte à creuset	Masse de l'échantill	Méfinir la masse	MO (%)

		on					on		
1	23,4124 g	1,0754 g	23,5755 g	84,83	1	23,7434 g	1,0606 g	23,8846 g	86,69
2	26,6350 g	1,0643 g	26,8086 g	83,69	2	25,0833 g	1,0681 g	25,2470 g	84,67
3	21,7201 g	1,0665 g	21,8838 g	84,65	3	23,7236 g	1,0660 g	23,9119 g	82,33

Source: auteur

En raison du métabolisme microbien lent et des systèmes de taille considérable, il n'y a eu aucune détection de biogaz, seulement la formation de bulles dans le filtre à CO₂.

On s'attend à ce que les progrès de la recherche puissent trouver la proportion idéale de RSO et d'inoculum utilisé pour une bonne efficacité dans l'élimination de la matière organique et la génération de biogaz. Il est connu la nécessité de toujours maintenir le pH dans la plage de fonctionnement optimale, de mesurer et de surveiller la température de l'environnement et d'évaluer l'influence sur les systèmes. De plus, il vise à caractériser la qualité du biogaz produit et le potentiel nutritif du biofertilisant collecté, ainsi que son potentiel d'utilisation.

4 CONCLUSION

La configuration proposée des biodigesteurs a le potentiel de devenir une alternative pour l'utilisation de l'eau rejetée par les distillateurs, dans les environnements universitaires, et/ou de l'eau de lavage des ustensiles de cuisine dans les environnements domestiques. L'alimentation des biodigesteurs avec des restes de nourriture peut également être un moyen adéquat d'éliminer correctement les déchets alimentaires de différents environnements, qui, bien qu'il s'agisse d'une technique lente, a un faible coût de construction, d'entretien et de fonctionnement simple.

Les résultats des analyses ont montré une tendance à la stabilité des systèmes. Il est attendu qu'avec l'avancée des recherches, les résultats de l'analyse des biofertilisants et du biogaz, en plus de ceux se référant à la dégradation de la matière organique, puissent confirmer si les configurations mises en place sont viables pour la biodigestion de ces déchets en semi- les milieux arides, en fonction de leur efficacité et de leur service aux normes par le compost produit.

5 MERCI

Le projet nous a appris le vrai sens de la résilience. Bien que les difficultés rencontrées semblent plus grandes, elles nous renforcent et nous font avancer dans l'évolution scientifique, notamment dans le cheminement humain et spirituel.

Remercier la Compagnie des Eaux et des Eaux Usées du Ceará (CAGECE), qui a contribué avec sa structure à la réalisation de l'analyse physico-chimique du projet.

En particulier, pour remercier le professeur Luana Viana Costa Silva d'avoir accepté le défi de rejoindre le projet, les mots sont petits pour exprimer la gratitude que je ressens pour avoir développé ce projet à ses côtés.

6 RÉFÉRENCES

BORGES, L. Z. *Caracterização da água cinza para promoção da sustentabilidade dos recursos hídricos*.

Dissertação (mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003. 91 f.

BRANCO, P.M.P. *Biodigestão Anaeróbia de Águas Residuárias Humanas: Composição do Biogás do Efluente*.

Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Unesp. Jaboticabal-SP, 2013.

BRASIL. *Lei Federal nº 12.305 de 02 de agosto de 2010*. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

KRETZER, S.G, et al. *Produção de Biogás com Diferentes Resíduos Orgânicos de Restaurante Universitário*.

Revista Brasileira de Energias Renováveis, v.5, n.4, p.551 – 565, 2016.

MAGALHÃES, G. V. V. *Avaliação da Biodigestão Anaeróbia de Resíduos Orgânicos: Ensaios de Potencial Bioquímico de Metano (BMP) e Projeto Piloto de um Biodigestor em Escala Real*. Tese (Doutorado) –

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Fortaleza, 2018.

RAPOPORT, B. *Águas cinzas: Caracterização, Avaliação Financeira e Tratamento para Reuso Domiciliar e Condominial*. Rio de Janeiro, 2004.

REIS, A.S. *Tratamentos dos Resíduos Sólidos Orgânicos em Biodigestor Anaeróbio*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) Universidade Federal de Pernambuco-UFPE. Caruaru, 2012.

REMPEL, N. *Biodigestão da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos consorciado com glicerina*. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS. 2013.

SCHULZ, F. *Biodigestão Anaeróbia da Fração Orgânica de Resíduos Sólidos Urbanos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2015.

1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento energético de resíduos sólidos orgânicos (RSO), pela geração de biogás, é uma tecnologia notadamente consolidada ao utilizar o esterco bovino como inóculo, e água de abastecimento. Contudo, a investigação científica de possíveis adaptações nessa tecnologia é imprescindível para viabilizar seu uso em diferentes realidades mundiais com disponibilidade de água e de tipologia de inóculos e substratos distintas.

Considerando que os resíduos orgânicos correspondem a mais de 50% do total dos resíduos urbanos (RSU) gerados no Brasil, segundo a versão preliminar do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2012), faz-se perceber os reatores anaeróbicos como possibilidade de tecnologia de tripla solução.

O uso de reatores anaeróbios na minimização da problemática dos resíduos sólidos orgânicos (RSO) já apresenta bons resultados em pesquisas científicas e na prática, não só na diminuição do volume dos resíduos como no aproveitamento energético e na produção de biofertilizante para utilização pela agricultura.

Se não tratado ou disposto de forma adequada os RSO podem, por sua alta biodisponibilidade de nutrientes, ocasionar contaminação de águas e de solos. Sua decomposição, se em locais manejados inadequadamente, ocorre por processo anaeróbio, o qual contribui para emissão do metano, gás causador do efeito estufa e altamente perigoso por seu potencial explosivo. A biodegradação de materiais não segregados produz um líquido que carrega substâncias perigosas como metais pesados.

O contexto de escassez hídrica e de limitações à criação bovina de regiões semiáridas, como os Sertões de Crateús, demanda adaptações. Dessa forma, uma das remodelagens tecnológicas deste trabalho foi a substituição da água potável por água cinza, como forma de tornar possível e efetiva sua aplicação no semiárido. Instintivamente uma pessoa que vive na escassez de recursos hídricos não destina esse bem limitado para outros usos que não os essenciais, sendo vantajoso, nesse sentido, o aproveitamento de águas cinzas.

Por sua vez, o uso de esterco ovino, em vez de bovino, usado originalmente na fase inicial de adaptação dos microrganismos ao meio, tem potencial de tornar a aplicação acessível, visto que esse tipo de criação prevalece na região, devido à adaptabilidade da espécie ao clima e à vegetação.

A utilização de água e inóculo diferentes leva à necessidade de análises e comparações dos resultados para avaliação da viabilidade e eficiência de cada sistema proposto, para se prever o custo-benefício. Como uma das pioneiras no aproveitamento de águas cinzas no tratamento de resíduos orgânicos, esta pesquisa pretende transformar o biodigestor em um instrumento mais usual para realidades urbanas semiáridas, além de tornar alternativa para aproveitamento energético de sobras alimentares.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de atingir o objetivo desta pesquisa, foram confeccionados e colocados em operação (dois sistemas independentes), conforme Figura 1.

Figura 1 - Configuração dos sistemas em operação



Fonte: autor

Cada sistema tinha os seguintes componentes, nesta ordem:

- biodigestor de 20L de capacidade bruta, construído a partir de galão de água e pintado com tinta preta fosca, a fim de manter a estabilidade da temperatura interna;
- filtro de H_2S (tubo PVC de 50 ou 40 cm preenchido com lã de aço e tampado com CAP);

- filtro de CO₂ (garrafa de vidro com solução filtrante feita de H₂SO₄ e NaCl, na proporção de 25g de NaCl e ácido sulfúrico, até atingir pH 2,0);

- câmara de ar, para armazenamento temporário do biogás até sua queima;

- medidor de gás, após os dois filtros;

- bico de Bunsen no fim de cada sistema, para simular a queima no uso doméstico.

Válvulas foram instaladas antes da entrada de cada componente do sistema, para facilitar manutenções preventivas e corretivas. Os filtros foram introduzidos antes do medidor de gás com o objetivo de retirarem gases contaminantes e medir o biogás mais puro em metano. O propósito era, no momento em que se detectasse produção significativa de biogás, pelo enchimento da câmara, a válvula de entrada de biogás era fechada e a de saída da câmara era aberta, para a queima no bico de Bunsen.

O esterco usado para a inoculação foi de origem ovina, recolhido em uma pequena criação nas imediações da sede do município de Crateús/Ceará/Brasil. O local contava com apenas 30 animais, alimentados com ração e vegetação componente da caatinga, justamente pelas limitações do semiárido.

No sistema R1 (sistema controle), o esterco foi diluído em água de descarte do destilador, triturado em liquidificador industrial e deixado em temperatura ambiente. Seguindo o mesmo processo, no sistema R2, a água usada foi a do enxágue do detergente de utensílios de cozinha. Sempre antes da alimentação, o pH era analisados, pois este parâmetro é determinante para o monitoramento da estabilidade dos sistemas e da qualidade do biogás e biofertilizante, assim como a temperatura das amostras e do ambiente. Após 25 dias foi realizada a primeira batelada, pois, de acordo com Rempel (2014), é o tempo adequado para manter o pH em torno de 7,2 e não inibir a metanogênese, etapa da biodigestão anaeróbia de maior produção de metano.

A introdução de Resíduos Sólidos Orgânicos (RSO) aconteceu de forma gradativa ao tempo e com massa proporcionalmente conhecida, iniciando logo que foi detectada produção de gases pós-inoculação. Os RSO utilizados foram sobras das cubas do Restaurante Universitário da Universidade Federal do Ceará – UFC, *campus* Crateús, mais especificamente arroz e feijão, que, de acordo com Kretzer *et al*, (2016), dentre os RSO que analisaram, são os que apresentam maior eficiência na geração de biogás. Cada alimentação possuía 1 L de água e 500g de resíduo (150g de inóculo e 350g de RSO, arroz e feijão em igual proporção em massa), realizada duas vezes na semana em dias alternados, exceto nos finais de semana.

A composição da alimentação do sistema, o chamado afluente, foi analisada por meio dos teores de Carbono Orgânico Total (COT), pelo método da mufla, e a Demanda Química de Oxigênio (DQO), pelo método de Wnkler, ambos em triplicata, realizada na partida do sistema e na remoção biofertilizante, para se ter parâmetro inicial da viabilidade ou não do tratamento.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da temperatura e do pH das águas cinzas foi essencial para que o potencial de viabilidade de seu uso fosse atestado preliminarmente, assim como a aferição desses parâmetros do afluente inicial, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Médias de temperatura e pH águas e afluentes iniciais

SISTEMA	ANÁLISE	
	pH	T °C
ÁGUA R1	6,59	30,7
ÁGUA R2	6,62	28,3
AFLUENTE R1	7,39	25,5
AFLUENTE R2	7,63	27,8

Fonte: autor

Os resultados de pH e temperatura do afluente são excelentes indicativos de estabilização do sistema. Segundo Reis (2012), o pH em torno de 6,5 a 7,5 é considerado ótimo para o crescimento dos microrganismos metanogênicos, tendo em vista que são considerados sensíveis ao pH. Para a temperatura, níveis ótimos relacionados à digestão anaeróbia estão, entre 30 a 35°C.

Além desse monitoramento, simultaneamente, era verificado a ocorrência de bolhas ou não no filtro de CO₂ e a situação geral dos sistemas. Verificou-se que, após 15 dias, houve formação de pequenas bolhas no filtro de CO₂.

As análises da temperatura e de pH do efluente também foram realizadas, a fim de verificar as características do biofertilizante removido, conforme Tabela 2.

Tabela 2 :Médias de temperatura e pH dos efluentes

SISTEMA	ANÁLISE	
	pH	T °C
EFLUENTE R1	7,34	29,2
EFLUENTE R2	7,38	29,3

Fonte: autor

A análise destes resultados mostra que, após 25 dias, o pH ainda se encontra na faixa ótima de estabilização da matéria orgânica, não havendo decaimento do pH, o que poderia causar desequilíbrio nos sistemas.

A análise de Demanda Química de Oxigênio (DQO) foi realizada com o objetivo de subsidiar a avaliação da eficiência de remoção de matéria orgânica dos sistemas, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados da DBO dos efluentes

SISTEMA	MÉDIA DA DBO
EFLUENTE R1	4.628,47 mg/L
EFLUENTE R2	3.827,73 mg/L

Fonte: autor

Estas médias podem indicar que ainda há um grande teor de matéria orgânica no sistema. Entretanto, como as amostras de DBO do afluente estouraram, não foi possível calcular a porcentagem de DBO removida dos sistemas, reforçando a importância de continuidade do projeto.

A determinação do teor de matéria orgânica, através da análise COT, retornou os seguintes resultados para cada sistema e amostra, apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados do COT dos afluentes

R1					R2				
Massa total da amostra seca fornecida = 9,0686 g					Massa total da amostra seca fornecida = 4,2359 g				
Cadinho	Massa cadinho	Massa da amostra	Massa do conjunto	MO (%)	Cadinho	Massa cadinho	Massa da amostra	Massa do conjunto	MO (%)
1	23,4124 g	1,0754 g	23,5755 g	84,83	1	23,7434 g	1,0606 g	23,8846 g	86,69
2	26,6350 g	1,0643 g	26,8086 g	83,69	2	25,0833 g	1,0681 g	25,2470 g	84,67
3	21,7201 g	1,0665 g	21,8838 g	84,65	3	23,7236 g	1,0660 g	23,9119 g	82,33

Fonte: autor

Devido ao metabolismo microbiano ser lento e os sistemas terem dimensão considerável ainda não houve detecção de biogás, apenas formação de bolhas no filtro de CO₂.

Espera-se que o andamento da pesquisa possa encontrar a proporção ideal de RSO e inóculo utilizado para boa eficiência de remoção de matéria orgânica e geração de biogás. Sabe-se a necessidade de manter sempre o pH na faixa ótima de funcionamento, aferir e monitorar a temperatura do ambiente e avaliar a influência nos sistemas. Além disso, pretende-se caracterizar a qualidade do biogás produzido e o potencial de nutrientes do biofertilizante recolhido, como os seus potenciais de uso.

4 CONCLUSÃO

A configuração proposta de biodigestores tem potencial para se tornar uma alternativa para o aproveitamento da água descartada por destiladores, em ambientes universitários, e/ou da água de lavagem de utensílios de cozinha em ambientes doméstico. A alimentação de biodigestores com sobras de alimentação também pode ser uma forma adequada de destinar adequadamente os desperdícios alimentares de diversos ambientes, que embora seja uma técnica lenta, possui baixo custo de construção, manutenção e operação simples.

Os resultados das análises demonstraram tendência à estabilidade dos sistemas. Espera-se que com o andamento da pesquisa os resultados das análises do biofertilizante e do biogás, além daqueles referentes à degradação da matéria orgânica, possam confirmar se as configurações implementadas são viáveis para a biodigestão destes resíduos em meios semiáridos, conforme sua eficiência e atendimento aos padrões pelo composto produzido.

5 AGRADECIMENTOS

O projeto tem nos ensinado o verdadeiro significado de resiliência. Embora as dificuldades enfrentadas pareçam maiores, elas nos fortalecem e impulsiona na evolução científica como principalmente na jornada humana e espiritual.

Agradecer a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), contribuindo com sua estrutura na realização das análises físico-químicas do projeto.

Em especial, agradecer a professora Dra. Luana Viana Costa Silva em ter aceitado o desafio de ingressar no projeto, palavras são pequenas para expressa a gratidão que sinto por desenvolver este projeto ao seu lado.

6 REFERÊNCIAS

- BORGES, L. Z. ***Caracterização da água cinza para promoção da sustentabilidade dos recursos hídricos.*** Dissertação (mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003. 91 f.
- BRANCO, P.M.P. ***Biodigestão Anaeróbia de Águas Residuárias Humanas: Composição do Biogás do Efluente.*** Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Unesp. Jaboticabal-SP, 2013.
- BRASIL. ***Lei Federal nº 12.305 de 02 de agosto de 2010.*** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.
- KRETZER, S.G, et al. ***Produção de Biogás com Diferentes Resíduos Orgânicos de Restaurante Universitário.*** *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v.5, n.4, p.551 – 565, 2016.
- MAGALHÃES, G. V. V. ***Avaliação da Biodigestão Anaeróbia de Resíduos Orgânicos: Ensaios de Potencial Bioquímico de Metano (BMP) e Projeto Piloto de um Biodigestor em Escala Real.*** Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Fortaleza, 2018.
- RAPOPORT, B. ***Águas cinzas: Caracterização, Avaliação Financeira e Tratamento para Reuso Domiciliar e Condominial.*** Rio de Janeiro, 2004.
- REIS, A.S. ***Tratamentos dos Resíduos Sólidos Orgânicos em Biodigestor Anaeróbio.*** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) Universidade Federal de Pernambuco-UFPE. Caruaru, 2012.
- REMPEL, N. ***Biodigestão da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos consorciado com glicerina.*** 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS. 2013.
- SCHULZ, F. ***Biodigestão Anaeróbia da Fração Orgânica de Resíduos Sólidos Urbanos.*** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2015.